

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Pevnostní optimalizace zavíracích členů zámku automobilu

Strength Optimization of Lock-up Parts for a Personal Car Lock

Student:  
Vedoucí diplomové práce:  
Konzultant Brose CZ spol. s r.o.

Bc. Tomáš Novák  
doc. Ing. Jiří Havlík, Ph.D.  
Milan Venclík

Ostrava 2012

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Novák**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin  
Téma: **Pevnostní optimalizace zavíracích členů zámku automobilů**  
**Strength Optimization of Lock-up Parts for a Personal Car Lock**

### Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce analyzujte stávající řešení v oblasti zámků zadního kufru a navrhnete možné tvarové optimalizace s přihlédnutím na jejich vyrobitelnost:

1. Analýza stávajících řešení (vybrané skupiny) firmy BROSE Kopřivnice.
2. Návrh geometrické optimalizace.
3. Identifikace opakujících se optimalizací.
4. Definice souboru doporučení a obecných potenciálů pro zlepšení konstrukce.
5. Vytvoření „ideální geometrie“ pro zvolenou aplikaci.

Písemná část práce bude obsahovat min 45 stran textu mimo přílohy. Konstrukční dokumentace bude obsahovat model a výkres optimalizovaného uzavíracího členu.

### Seznam doporučené odborné literatury:

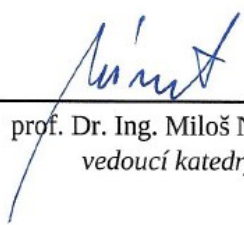
- BOLEK, A.; KOCHMAN, J. *Části strojů 1*. Praha: SNTL, 1990. 775s. ISBN 80-03-00046-7.  
BOLEK, A.; KOCHMAN, J. *Části strojů 2*. Praha: SNTL, 1990. 707s. ISBN 80-03-00426-8.  
DEJL, Z. *Konstrukce strojů a zařízení I*. Ostrava: Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-7225-018-3  
DRASTÍK, F. *Strojnické tabulky*. Ostrava: Montanex, 1999, 722 s. ISBN 80-85780-95-X  
KŘÍŽ, R. *Strojnické tabulky II. Pohony*, Ostrava: Montanex, 1997, 213 s. ISBN 80-85780-51-8  
MORAVEC, V.; HAVLÍK, J. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2005, 72 s. ISBN 80-248-0878-1????  
NĚMČEK, M. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů, spoje*.  
druhé vydání Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 111 s. ISBN 978-80-248-1782-8  
*Katalogy ložisek*  
*Firemní literatura*

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Havlík, Ph.D.**


Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



---

prof. Dr. Ing. Miloš Němček  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Novák

Adresa trvalého pobytu autora práce: Na Pomezí 59

747 06, Opava

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Novák T. *Pevnostní optimalizace zavíracích členů zámku automobilu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra části a mechanismů strojů, 2012, 53 s. Vedoucí práce: Havlík, J.

První část diplomové práce se zabývá analýzami vybraných členů zámku automobilu, tj. rohatky a západky zámku. Tyto analýzy vychází z testů, kterým musí každý zámek vyhovět. Analýzy byly provedeny celkem na čtyřech rozdílných typech zámků. Dalším krokem byla identifikace opakujících se optimalizací, které se u členů těchto zámků vyskytují. Výsledkem analýz byl návrh možných optimalizací rohatky zámku X152. Snahou bylo ušetřit materiál bez negativního vlivu na funkci součásti ověřované pevnostními testy. Z navržených optimalizací byla vybrána konečná ideální geometrie. V závěrečné části této práce jsou definovány soubory doporučení ke zlepšení budoucí konstrukce členů zámků. Analýzy byly provedeny pomocí metody konečných prvků v softwaru ANSYS.

## ANOTATION OF THESIS

Novák T. *Strength Optimization of Lock-up Parts for a Personal Car Lock: Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanism, 2012, 53 p. Supervisor: Havlík, J.

The first part of the thesis deals with the analyses of selected members i.e. rotor and pawl of a car lock. This analysis is based on tests that must comply with each lock. Analyses were performed on four different types of locks. Next step was definition of repeating optimization, which is on rotor of these locks. Design optimizations of rotor latch X152 were the result of analyses. Effort was to save material without a negative impact on function of component which is controlled by strength tests. It was selected the final ideal geometry from design of optimizations. There are defined a set of recommendations to improve the design of future members of the locks in the final part of this thesis. Analyses were performed using the finite element method in ANSYS software.

## Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	8
1. Úvod .....	9
2. Obecný popis hlavních částí zámku .....	10
3. Princip mechanického testování zámků .....	12
3.1 Zátěžový test 1 .....	14
3.2 Zátěžový test 2 .....	15
4. Definice materiálu a okrajových podmínek .....	17
4.1 Charakteristika materiálu testovaných členů .....	17
4.1.1 Zadání materiálové charakteristiky .....	19
4.2 Typy prvků .....	21
4.3 Sítování modelu .....	22
4.4 Stanovení okrajových podmínek a zatížení .....	24
4.4.1 Okrajové podmínky – test 1 .....	24
4.4.2 Okrajové podmínky – test 2 .....	26
5. Napětěová analýza stávajících řešení .....	28
5.1 Analýza členů zámku ASTRA při testu 1 a 2 .....	28
5.2 Analýza členů zámku E91 při testu 1 a 2 .....	31
5.3 Analýza členů zámku PL6 při testu 1 a 2 .....	33
5.4 Analýza členů zámku X152 při testu 1 a 2 .....	35
5.5 Vyhodnocení analýz .....	38
6. Opakující se optimalizace .....	39
7. Optimalizace rohatky zámku X152 .....	41
7.1 Navržené verze optimalizací .....	42
7.2 Analýza rohatky zámku X152 – verze 1 .....	44
7.3 Analýza rohatky zámku X152 – verze 2 .....	45
7.4 Analýza rohatky zámku X152 – verze 3 .....	46
7.5 Analýza rohatky zámku X152 – verze 4 .....	47
7.6 Výběr konečné varianty a porovnání s původní verzí .....	48
8. Závěr .....	50
9. Seznam použité literatury .....	52
10. Seznam příloh .....	53

## Seznam použitých značek a symbolů

CAD (Computer – aided design)	2D a 3D počítačové projektování.
IGES (Initial Graphics Exchange Specification)	Neutrální formát sloužící k převodu modelů mezi různými CAD systémy.
MKP (Finite element method – FEM)	Metoda konečných prvků.
Solid	Pevný geometrický model (element).

Značka	Veličina	Jednotka
$m$	Hmotnost	[g]
$E_{\text{mod}}$	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
$F$	Tíhová síla (zatížení)	[N]
$L_0$	Původní délka zkušebního vzorku	[mm]
$L_i$	Skutečná délka zkušebního vzorku	[mm]
$R_e$	Mez kluzu v tahu	[MPa]
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu v tahu	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
$S_0$	Původní průřez zkušebního vzorku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_i$	Skutečný průřez zkušebního vzorku	[mm <sup>2</sup> ]
$\varepsilon$	Poměrné prodloužení smluvní	[mm/mm]
$\bar{\varepsilon}$	Poměrné prodloužení skutečné	[mm/mm]
$\sigma$	Napětí smluvní	[MPa]
$\bar{\sigma}$	Napětí skutečné	[MPa]



## 1. Úvod

Pro schválení každého nově zkonstruovaného zámkového systému (dále pouze zámku) je nutné tento zámek testovat z důvodu bezpečnosti. Slouží k tomu bezpečnostní normy, které jsou pro každý zámek závazné. V mém případě jde o zámky zadních dveří automobilu (víko kufru). U tohoto zámku se provádí celkem 3 zatěžovací testy. Test 1 – podélné zatěžování, test 2 – příčné zatěžování a test 3 – vertikální zatěžování. Mým úkol je zabývat se pouze testem 1 a 2. Každý test se provádí pro 2 polohy uzavření zámku tzn. primární a sekundární polohu zámku. Pro každou polohu je vyžadována jiná zatěžovací síla.

Diplomová práce se zabývá vytvořením napěťových analýz zadaných členů zámků automobilu od fy Brose CZ spol. s r.o. Analýzy simulují působení sil, kterými jsou členy zámků vystaveny při testech. Jedná se celkem o 4 různé typy zámků - typ „ASTRA“, „E91“, „PL6“ a „X152“ v pořadí vývojově od nejstaršího po nejnovější. Jednotlivé členy zámků analyzuji pro dva testy a u každého testu pro dvě polohy uzavření. Celkem bylo provedeno 16 napěťových analýz. Dalším krokem bylo provedení zhodnocení a identifikace opakujících se optimalizací, které se u těchto zámků vykytují. Z této identifikace jsou vytvořena doporučení, která pomohou pro budoucí zlepšení konstrukce těchto členů zámků.

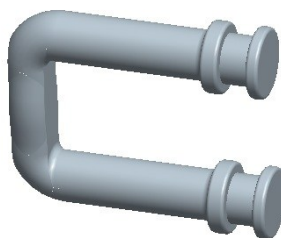
Posledním krokem je optimalizace rohatky zámku „X152“ a vytvoření optimální geometrie. Prioritou této optimalizace je snaha o úsporu materiálu bez výrazného zhoršení pevnostních vlastností, které nesmí mít negativní vliv na výsledky prováděných testů. Napěťové analýzy a optimalizace byly provedeny metodou konečných prvků (dále jen „MKP“) v programu ANSYS Workbench Release 13.

## 2. Obecný popis hlavních částí zámku

Zadaný zámek je umístěn v zadních dveřích automobilu (víko zavazadlového prostoru). Na obr. 2.1 jsou zobrazeny zadní dveře automobilu. Jsou rozděleny na dvě části – dolní a horní díl. Zámek je umístěn v horním dílu dveří. K dolnímu dílu je připevněn kovový element - striker, sloužící ke spojení horních dveří s dolními. Na obr. 2.2 je detail strikeru.

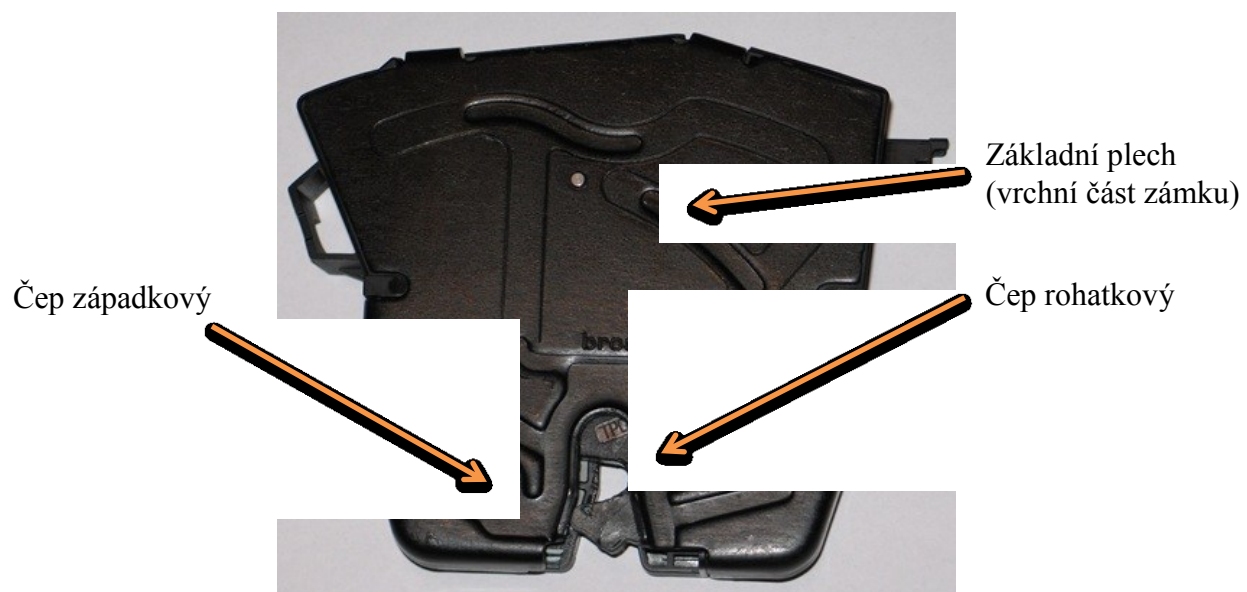


Obr. 2.1 – Umístění zámku v zadních dveřích automobilu [7]

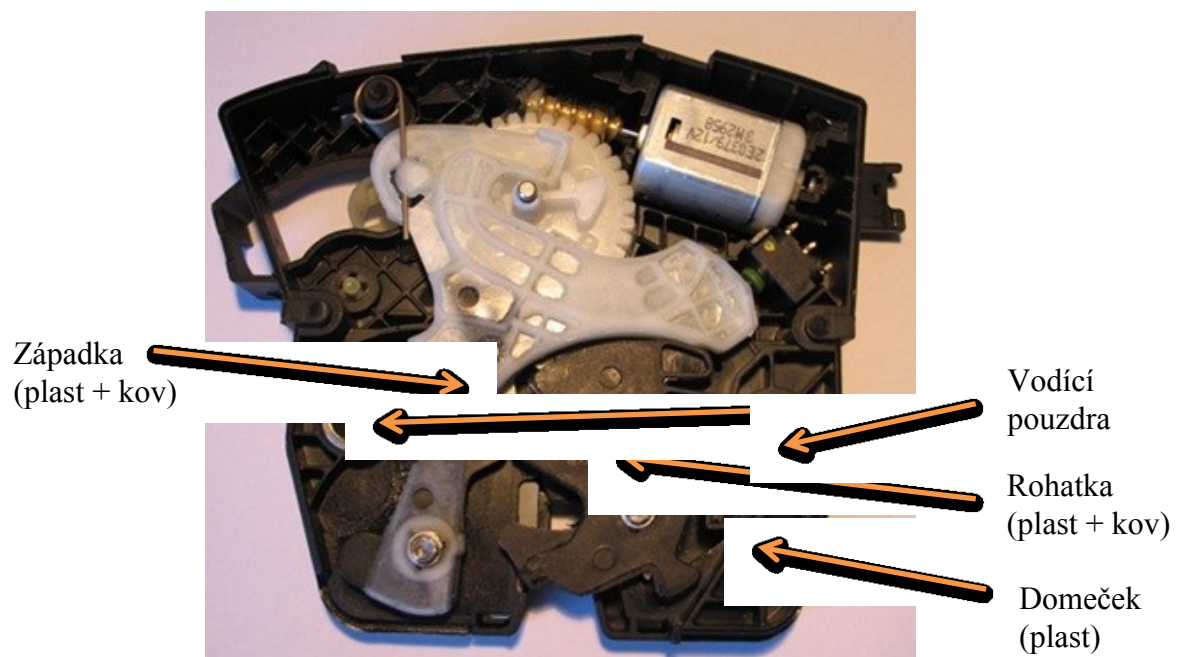


Obr. 2.2 – Detailní zobrazení strikeru

Na obr. 2.3 je zobrazen zámek typ E91, včetně popisu jednotlivých částí. Na obr. 2.4 je pohled na vnitřní uspořádání jednotlivých částí zámku. Zámek je v primární poloze, tzn. rohatka vůči západce. Rohatka je člen, u kterého dochází ke kontaktu se strikerem. Západka fixuje rohatku v jedné ze dvou poloh. Lze říci, že tyto dvě součásti jsou jedny z nejdůležitějších členů v zámku. Obě součásti obsahují kovovou a plastovou část. Analýzy jsou provedeny pouze pro kovové části rohatky a západky. Materiál kovové části je ocel 16MnCr5 a plastové části termoplastický elastomer TPC – ET.



Obr. 2.3 – Celkový pohled na zámek (typ E91)



Obr. 2.4 – Zobrazení zámku v primární poloze (typ E91)

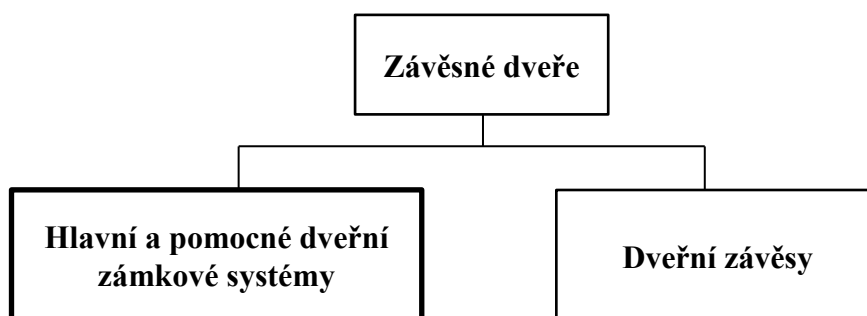
### 3. Princip mechanického testování zámků

Výrobci zámkových systémů musí každý nově uvedený zámek podrobit bezpečnostním testům, které musí odpovídat americkým nebo evropským normám, podle toho, kde bude automobil s daným zámkem provozován. Evropská norma ECE R11 je zaměřena při testování více na vozidlo jako celek. Americká norma FMVSS 206 [4] je náročnější a upřednostňuje více samostatné zámkové systémy automobilu, viz tab. 3.1. Z tohoto důvodu byla brána v úvahu pouze americká norma FMVSS 206.

Tab. 3.1 - Srovnání bezpečnostních norem pro testy zámků [5]

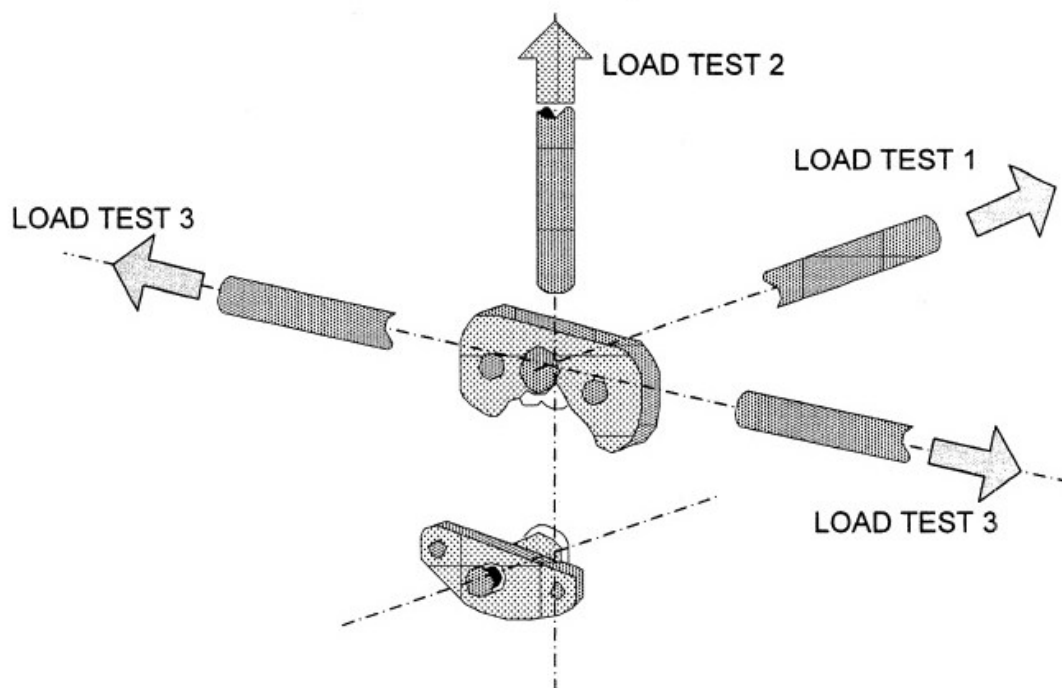
Komponenty dveří	U.S. – FMVSS 206	Rozdíl v ECE R11.02
Osobní vozy	- boční dveře, dveřní zámkové systémy, zámkové systémy a závěsy	- boční dveře, zámkové systémy a závěsy na osobních vozech M1 a N1 ( $\leq 9$ sedadel a do 3,5 t)
	- <b>zadní dveře, dveřní zámkové systémy</b> , zámkové systémy a závěsy osobních vozidel vyrobených po 1. 9. 1997 a s celkovou hmotností vozidla $\leq 4\,536$ kg	nespecifikováno

V normách se testy zámkových systémů rozděluje podle toho, v jakých dveřích je daný zámek umístěn. Na obr. 3.1 je zobrazeno základní rozdělení testů pro zámkové systémy umístěné ve dveřích připevněných k automobilu pomocí závěsů. Má práce se z tohoto rozdělení zabývá testy hlavních a pomocných zámkových systémů.



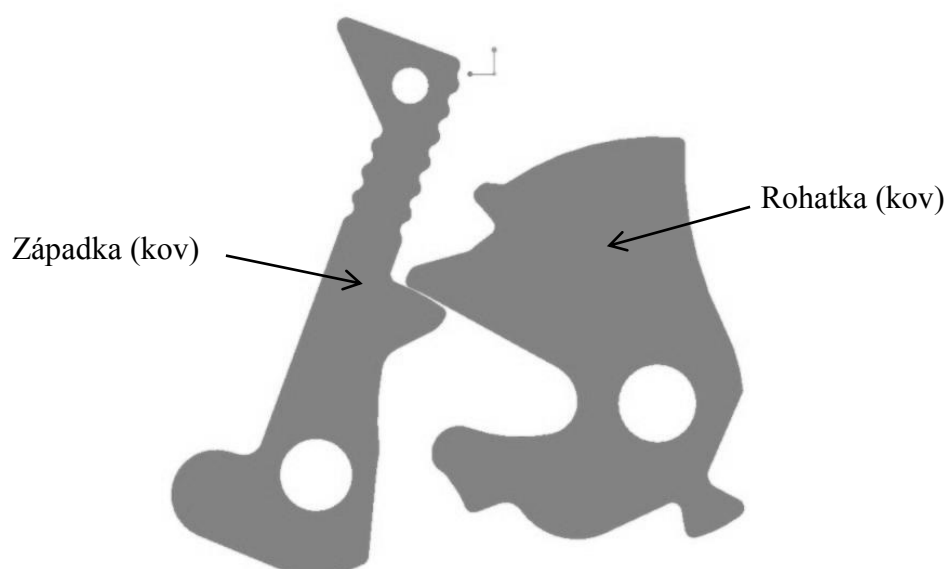
Obr. 3.1 – Hlavní rozdělení testů zámkových systémů závěsných dveří [6]

Na obr. 3.2 jsou zobrazeny směry působícího zatížení při testech hlavních a pomocných dveřních zámkových systémů. Pro tento typ zámkového systému se vykonávají celkem 3 testy. Test 1 pro podélné zatížení zámkového systému, test 2 pro příčné zatížení a test 3 pro vertikální zatížení zámkového systému. Úkolem bylo vypracování analýz pro test zatížení 1 a 2. Pokud zámek projde testy 1 a 2 je velice pravděpodobné, že vyhoví také testu 3.



*Obr. 3.2 – Směry působícího zatížení při testování zámku [4]*

Každý test se provádí pro primární a pro sekundární polohu zámku. Zámek má dvě polohy uzavření z důvodu bezpečnosti. Při nezapadnutí do primární polohy jistí otevření zámku ještě sekundární poloha. Výrobci tyto zámky testují vždy jako celek. Zatěžování zámků probíhá vždy do okamžiku destrukce testovaného zámku. Na obr. 3.3 a 3.4 jsou zobrazeny kovové členy zámku – západka a rohatka bez plastových částí v polohách primární a sekundární.



*Obr. 3.3 – Primární poloha členů zámku (typ E91)*

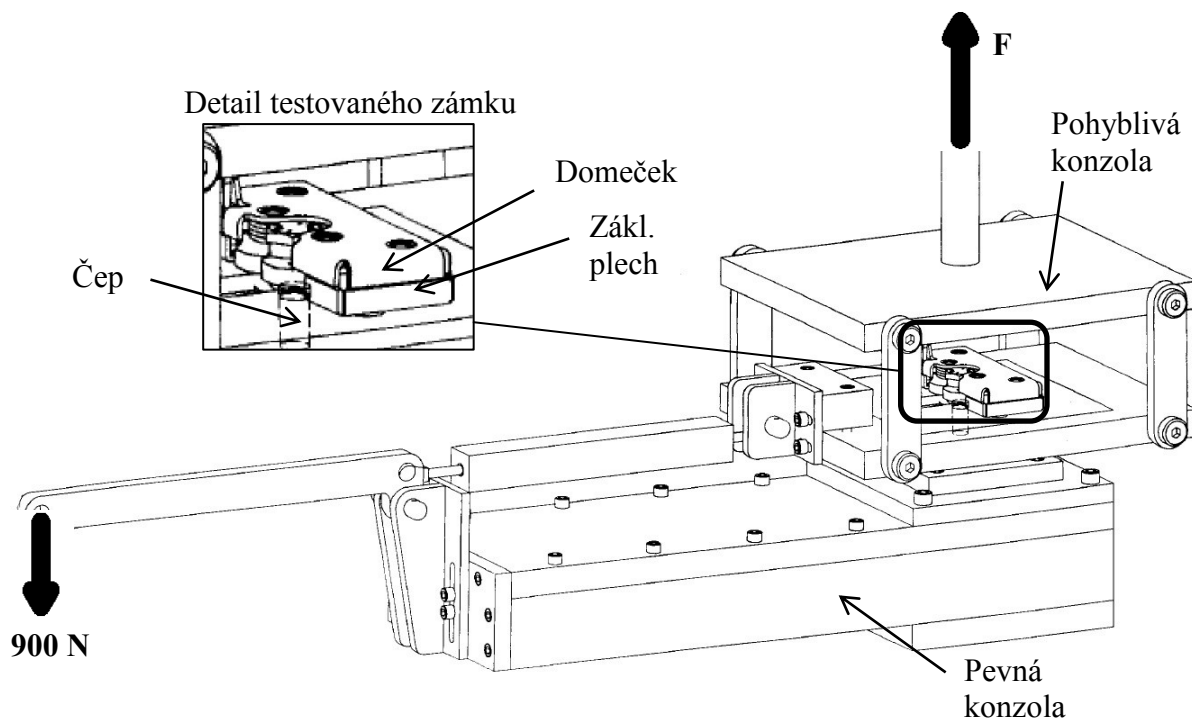


*Obr. 3.4 – Sekundární poloha členů zámku (typ E91)*

### **3.1 Zátěžový test 1**

Principem testu je zatěžování zámku v podélném směru, viz obr. 3.2. Na obr. 3.5 je zobrazen zkušební stroj pro test 1. Zámek je připevněn k pohyblivé konzole, která se při testu pohybuje směrem nahoru zkušební silou  $F$ . Rychlost posuvu je u všech testů 5 mm/min, až do destrukce zámku. Zámek je většinou připevněn k rámu pohyblivé konzoly pomocí základního plechu testovaného zámku (viz obr. 2.3).

Zámek je v pohyblivé konzole umístěn v takové poloze, aby základní plech zámku byl umístěn vždy ve spodní části. Čep, tedy člen působící proti rohatce je připevněn k pevné konzole. Čep zde simuluje funkci strikeru. Zámek je rovněž při testu v každé poloze zámku namáhán předpětím 900 N z důvodu pracovního ustavení polohy strikeru vůči zámku.

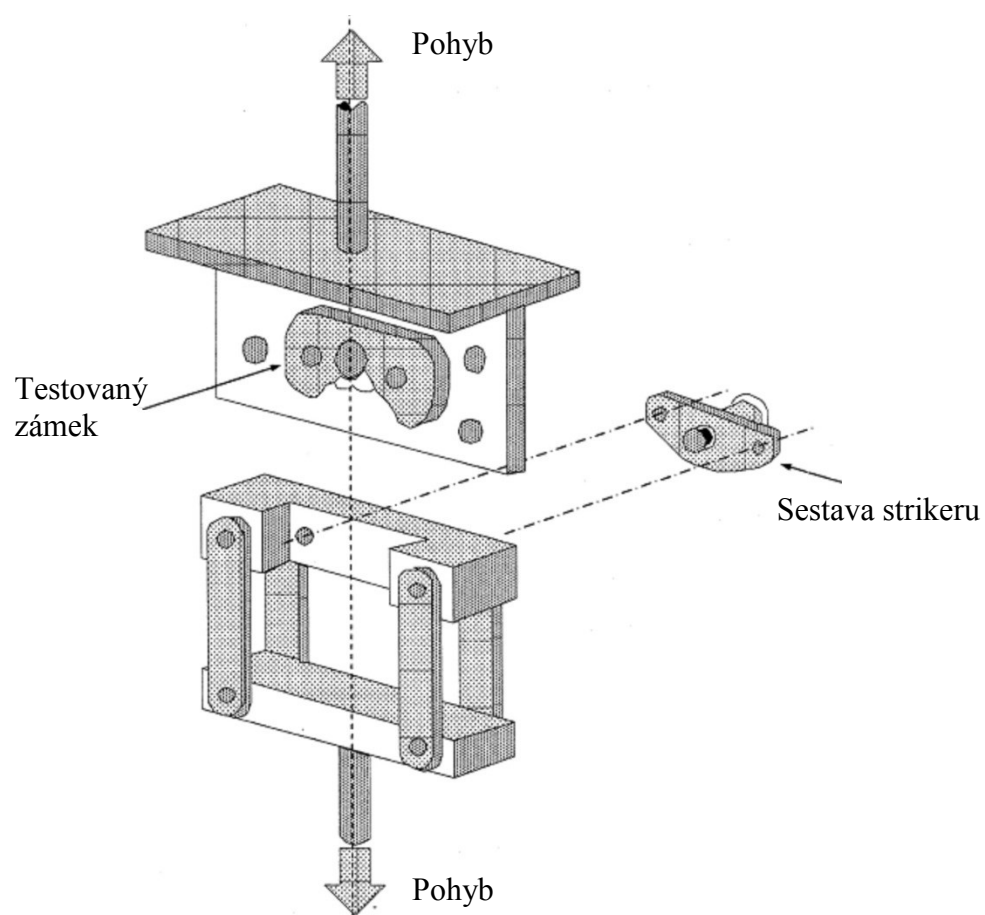


Obr. 3.5 – Zobrazení zátěžového testu 1 [6]

Při tomto testu musí zámek v primární poloze odolat zatížení  $F = 11\,000\text{ N}$ . V sekundární poloze je velikost síly  $F = 4\,500\text{ N}$ . Z důvodu bezpečnosti byla zvýšena velikost normou stanovených sil o 20 %. Primární poloha je tedy zatěžována silou  $F = 13\,200\text{ N}$  a sekundární poloha silou  $5\,400\text{ N}$ .

### 3.2 Zátěžový test 2

U testu 2 je čep (striker) připevněn ke spodní části zkušebního přípravku a testovaný zámek k vrchní části přípravku. Podle nastavené síly se čep snaží oddělit od zámku v příčném směru dle obr. 3.6. Velikost rychlosti posuvu je  $5\text{ mm/min}$ . V primární poloze zámku zde působí zatížení  $9\,000\text{ N}$ . V sekundární poloze je velikost síly  $4\,500\text{ N}$ . Také u tohoto testu je nutné uvažovat se stejnou bezpečností jako u testu 1. V primární poloze je velikost působící síly  $10\,800\text{ N}$  a v sekundární poloze  $5\,400\text{ N}$ .



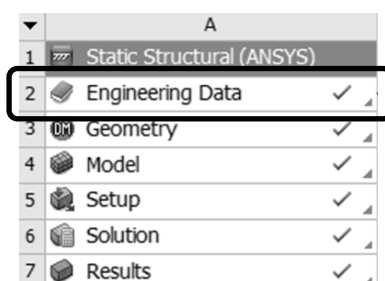
Obr. 3.6 – Zobrazení zátěžového testu 2 [6]



## 4. Definice materiálu a okrajových podmínek

Při řešení analýzy a optimalizace vybraných dílů zámků byla využita metoda MKP pomocí programu ANSYS Workbench verze 13. Do tohoto programu byly importovány geometrické modely ve formátu IGES (\*.igs). Tímto se vytvořily pevné geometrické modely typu solid.

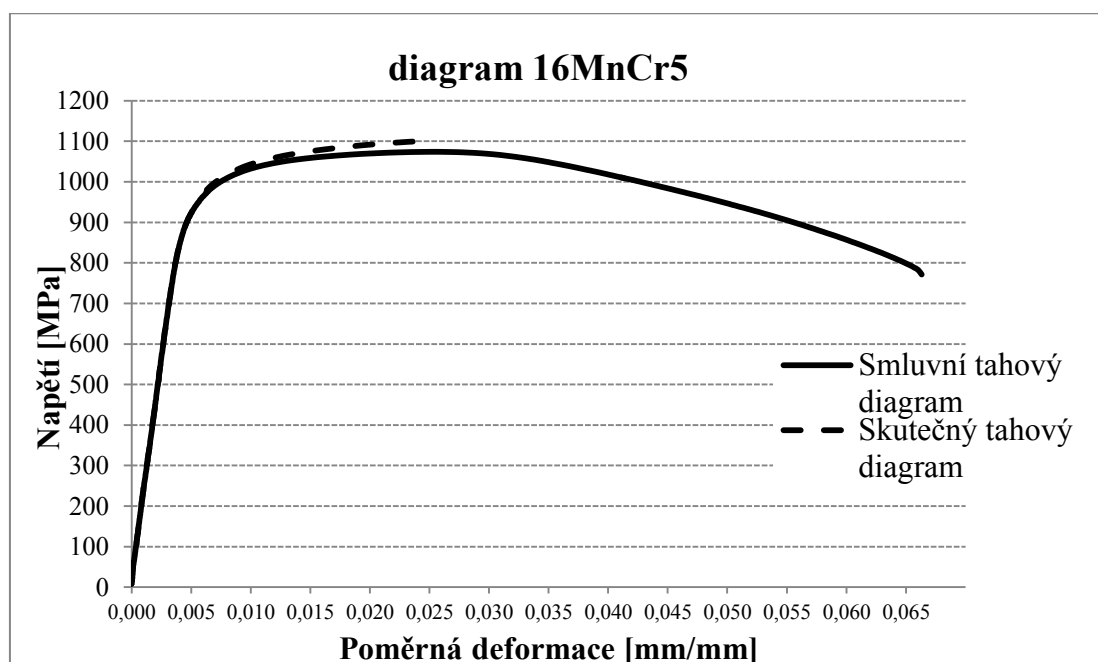
Do Ansysu je možno také vkládat různé materiálové charakteristiky včetně možnosti zadávání tahového diagramu materiálu (multilineární definice). Na obr. 4.1 je zobrazena položka „Engineering Data“, kde je možné volit materiálové vlastnosti.



Obr. 4.1 – Definice materiálových vlastností

### 4.1 Charakteristika materiálu testovaných členů

Oba členy rohatka i západka jsou z oceli 16MnCr5. Tento materiál je ekvivalentem k oceli 14 220, ze kterého se vyrábí např. ozubená kola. Je vhodná pro součásti s tvrdou cementovanou vrstvou a má velkou pevnost v jádře. Pomocí dat získaných od zadavatele diplomové práce byl sestaven tahový diagram tohoto materiálu. Na obr. 4.2 je sestavený tahový diagram, je zde zobrazena smluvní charakteristika poskytnutá od zadavatele a skutečná, získaná přepočtem dat. V tab. 4.1 jsou základní parametry oceli 16MnCr5.

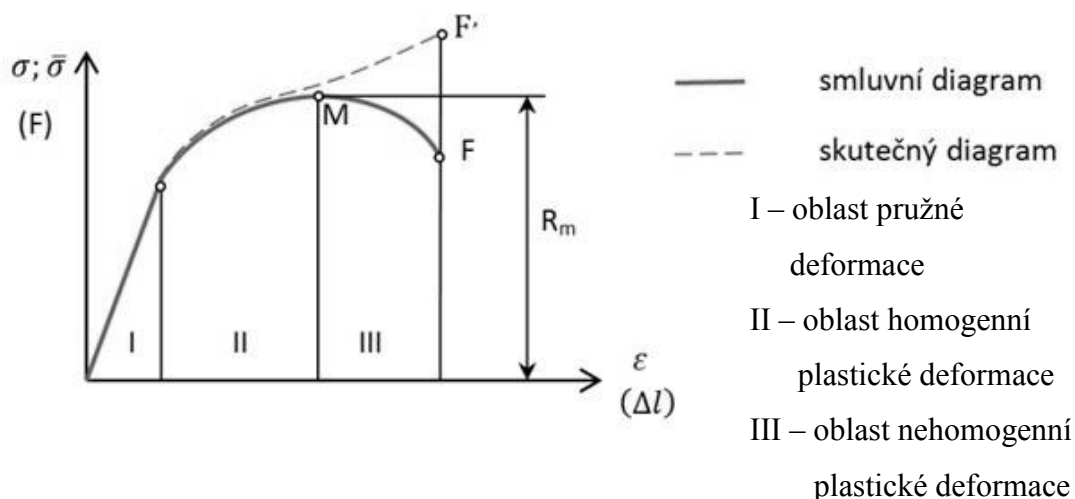


Obr. 4.2 – Tahový diagram materiálu 16MnCr5

Tab. 4.1 – Parametry smluvního a skutečného tahového diagramu 16MnCr5 [8]

	$E_{\text{mod}}$	$R_{p0,2}$	$R_m$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
<b>Smluvní</b>	221700	973,27	1074
<b>Skutečný</b>	221700	973,27	1102

U smluvního tahového diagramu se napětí vztahuje vždy k původnímu průřezu  $S_0$  zkoušeného vzorku. Napětí u skutečného tahového diagramu se vztahuje ke skutečnému průřezu. Smluvní diagram je převeden na skutečný pouze po hodnotu meze pevnosti  $R_m$  z toho důvodu, že pouze po tuto hodnotu byl zadán tahový diagram do programu Ansys. Na obr. 4.3 jsou zobrazeny jednotlivé oblasti deformace tahového diagramu.



Obr. 4.3 – Oblasti tahového diagramu [3]

V oblasti I tj. do smluvní meze pevnosti  $R_{p0,2}$  zde platí Hookův zákon a deformace je zde pružná. Deformace v pružné oblasti jsou mnohem menší než v oblasti plastické. Proto lze předpokládat, že rozměry původního vzorku se od rozměrů skutečných příliš neliší.

Platí zde  $L_0 \cong L_i$ ,  $S_0 \cong S_i$ , tedy  $\sigma \cong \bar{\sigma}$  a  $\varepsilon \cong \bar{\varepsilon}$ .

Oblast II je zde omezena smluvní mezí kluzu  $R_{p0,2}$  a mezí pevnosti  $R_m$ . Pro přepočítání smluvního diagramu na skutečný byly použity přepočební vzorce dle [3]:

$$\bar{\sigma} = \sigma \cdot (1 + \varepsilon) \quad (4.1)$$

$$\bar{\varepsilon} = \ln \cdot (1 + \varepsilon) \quad (4.2)$$

V oblasti III již dochází k tvorbě krčku na zkušební tyči, nastává zde nehomogenní plastická deformace. Tato oblast již nebyla do materiálové charakteristiky Ansysu vložena.

#### 4.1.1 Zadání materiálové charakteristiky

Materiálová charakteristika byla do programu Ansysu zadána pomocí skutečného tahového diagramu, viz obr. 4.2. Uvádějí se zde hodnoty potřebné pro lineární charakteristiku materiálu – Youngův modul pružnosti, Poissonovo číslo a hustota. Body tahového diagramu se uvádějí do položky „Multilinear Isotropic Hardening“, viz obr. 4.4.

Lineární charakteristika →

Definice tahového diagramu →

	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	Density	7850	kg...	
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Mod...		
8	Young's Modulus	2,217E+05	MPa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,8475E+11	Pa	
11	Shear Modulus	8,5269E+10	Pa	
12	Multilinear Isotropic Hardening	Tabular		
13	Scale	1		
14	Offset	0	MPa	

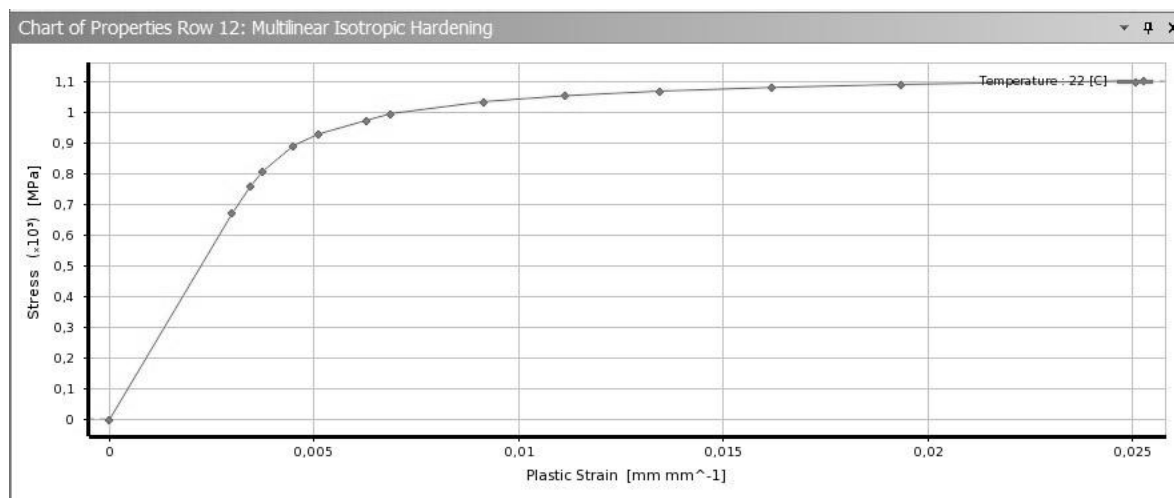
Obr. 4.4 – Zadání materiálové charakteristiky

Z dat tahové zkoušky získaných z [8] byly vybrány body tahového diagramu, viz tab. 4.2. Pomocí těchto vybraných bodů byl vytvořen tahový diagram sestavený po úsecích.

Tab. 4.2 – Hodnoty potřebné k vytvoření tahového diagramu [8]

	B	C
1	Plastic Strain (mm mm <sup>-1</sup> )	Stress (MPa)
2	0	635
3	0,003	671
4	0,00345	760
5	0,00375	808
6	0,0045	891
7	0,0051	928
8	0,00628	973
9	0,00688	995
10	0,00916	1034
11	0,01113	1053
12	0,01345	1068
13	0,0162	1080
14	0,01937	1090
15	0,02529	1102

Na obr. 4.5 je zobrazena zadaná křivka skutečného tahového diagramu materiálu 16MnCr5 v hodnotách napětí [MPa] k poměrné deformaci [mm/mm] z hodnot tab. 4.2. První křivka zde značí elastickou oblast (lineární charakteristika), následující pak plastickou oblast.



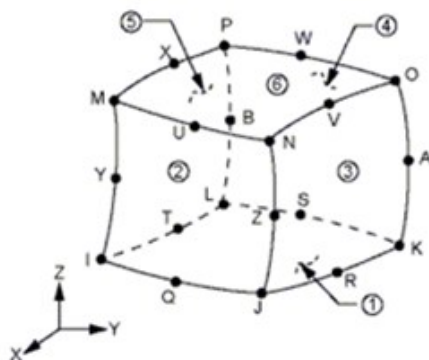
Obr. 4.5 – Křivka tahového diagramu zadaná do Ansysu

## 4.2 Typy prvků

Databáze programu Ansys obsahuje velké množství různých typů elementů sloužících k tvorbě konečno - prvkového modelu. V tomto případě, kdy byly prováděny pouze strukturální analýzy, byly využity převážně prostorové prvky typu SOLID 186 a SOLID 187. Na následujících obrázcích prvků jsou uzly a meziuzly označeny pomocí písmen, plochy stěn jsou označeny číslicemi.

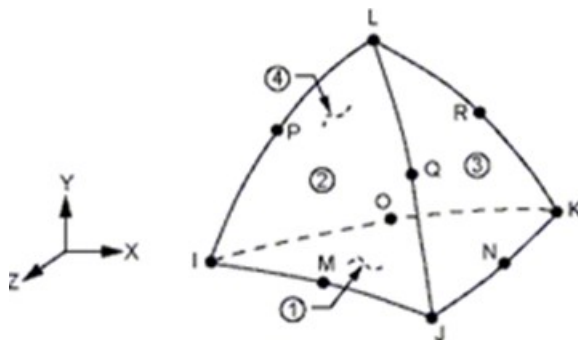
Hlavní typy použitých prvků:

- SOLID 186 je prostorový pevný hexaedrický prvek skládající se z 20 uzlů, v každém uzlu a meziuzlu má 3 stupně volnosti tzn. posuvy v osách x, y, z, viz obr. 4.6.



Obr. 4.6 – Prvek SOLID 186 [2]

- SOLID 187 je prostorový pevný tetraedrický prvek který obsahuje 10 uzlů. Každý uzel a meziuzel umožňuje 3 stupně volnosti, posuvy v osách x, y, z, viz obr. 4.7 Je využit v místech, která nelze popsat pomocí hexaedrického prvku.



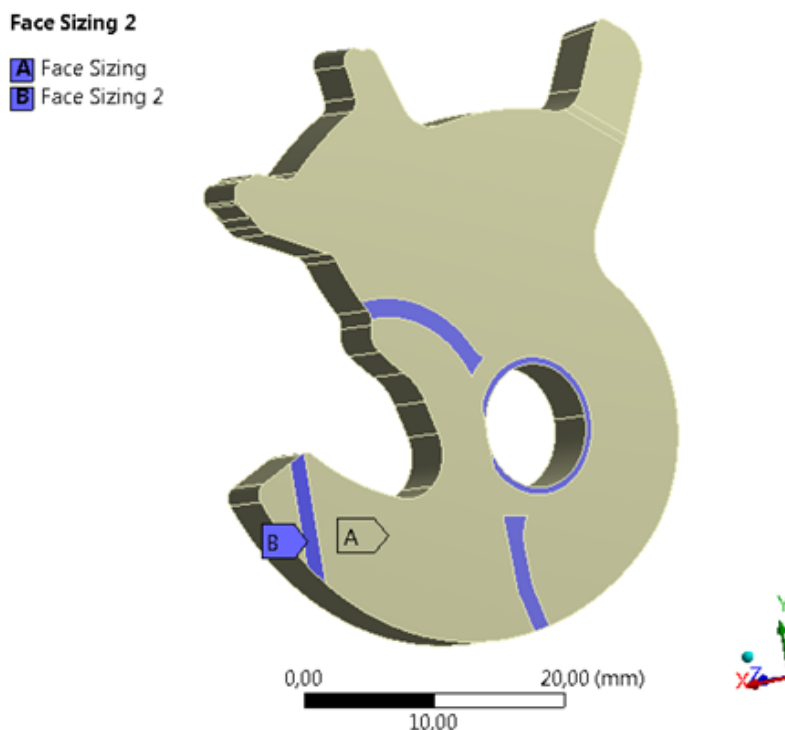
Obr. 4.7 – Prvek SOLID 187 [2]

### 4.3 Síťování modelu

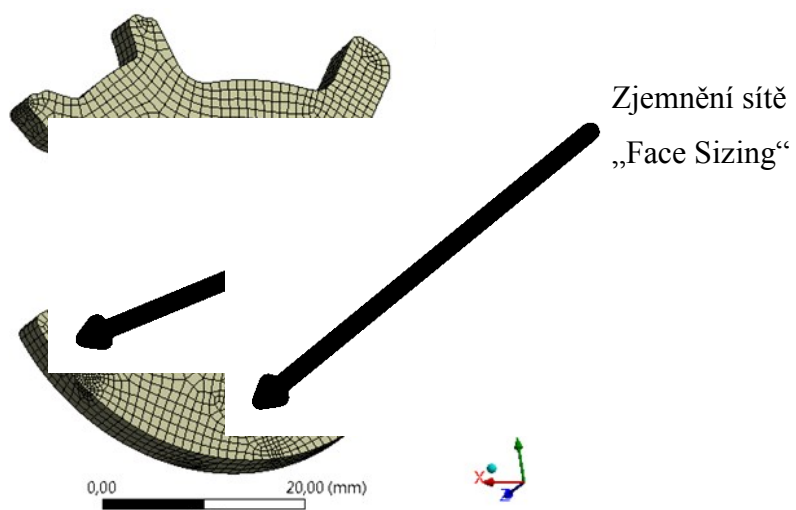
K tvorbě konečno - prvkového modelu bylo využito automatického generování sítě metodou „Hex Dominant“. Užívá se u součástí s jednodušším tvarem např. s konstantní tloušťkou. Nelze použít u součásti tvaru koule. Nejvíce zastoupeným prvkem je zde hexaedrický prvek SOLID 186, viz kapitola 4.2. Hustota konečné sítě byla zjemněna pomocí funkce „relevance“. „Relevance“ byla nastavena na hodnotu 100, což je hodnota nejpřesnější pro výpočet. Zadání podmínek síťování zde bude uvedeno pouze pro rohátku zámku X152. U ostatních zámků jsou tyto podmínky nastaveny obdobně.

V místech umístění podpor, sil a oblastech koncentrace napětí bylo zadáno zjemnění sítě funkcí „FACE SIZING“ (viz obr. 4.8 a 4.10). Na obr. 4.9 je zobrazen konečno - prvkový model zámku X152 před analýzou testu 1, na obr. 4.11 před analýzou testu 2.

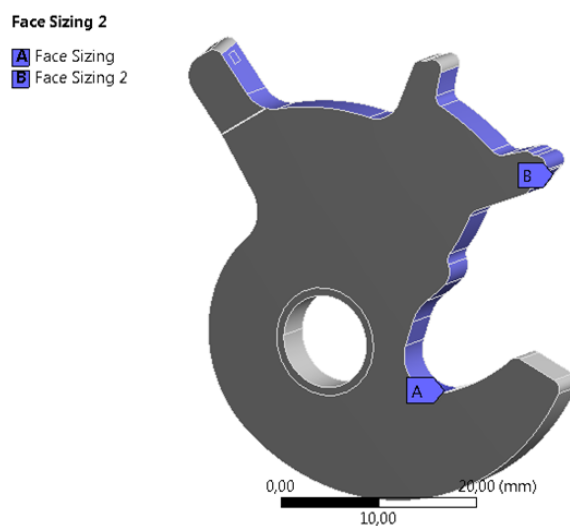
Konečno – prvkový model rohátky zámku X152 obsahuje 16348 elementů a 56197 uzlů při analýze testu 1. Při analýze testu 2 obsahuje 16048 elementů a 61380 uzlů. U ostatních zámků jsou tyto údaje obdobné, závisí samozřejmě na objemu dané součásti.



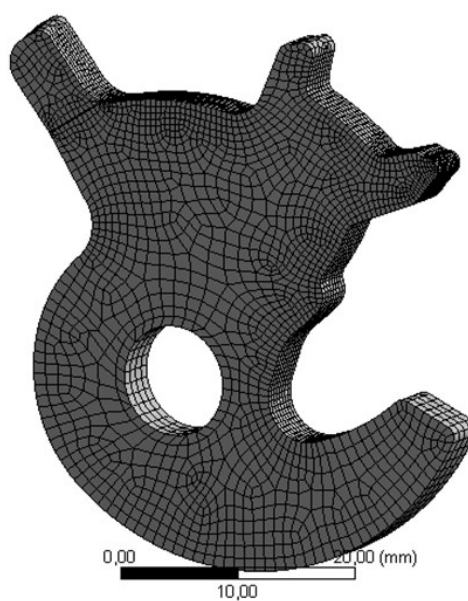
Obr. 4.8 – Zadání funkce „Face Sizing“ u rohátky X152 (test 1)



Obr. 4.9 – Konečno - prvkový model rohatky X152 (test 1)



Obr. 4.10 – Zadání funkce „Face Sizing“ u rohatky X152 (test 2)



Obr. 4.11 – Konečno - prvkový model rohatky X152 (test 2)

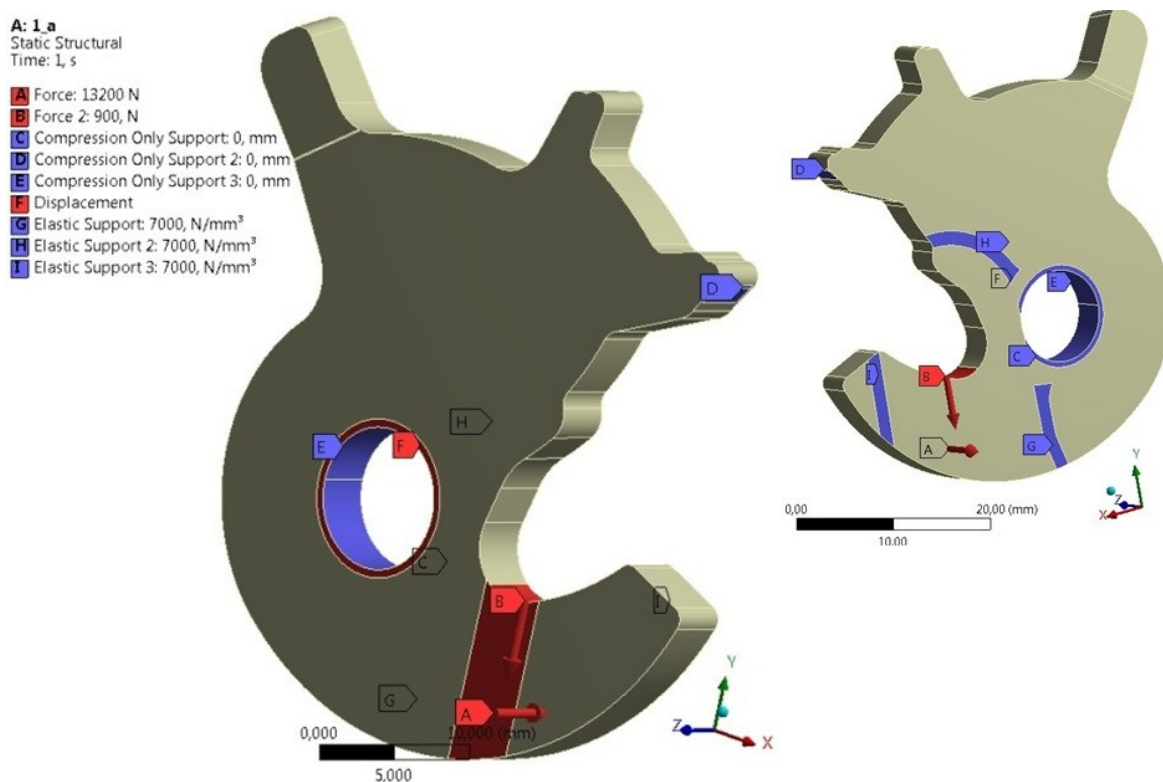
#### 4.4 Stanovení okrajových podmínek a zatížení

U každé analýzy byly zadávány okrajové podmínky formou uchycení (zavazbení součástí) tak, aby bylo možno co nejreálněji simulovat podmínky uchycení při testech. Byly využity tři typů vazeb: „Compression only Support“, „Elastic Support“ a „Displacement“.

Pro výpočet bylo nutné také zadat zatěžující síly, které při testech působí. Z důvodu bezpečnosti byly hodnoty hlavních zatěžujících sil zvýšeny o 20% oproti hodnotám stanoveným v normě FMVSS 206. Zadání okrajových podmínek a zatížení jsou uvedeny pouze pro členy zámku X152 pro test 1 a 2 v primární poloze. Zadání okrajových podmínek členů zámku v sekundární poloze je obdobné jen s tím rozdílem, že se zadává menší velikost sil. Ostatní zámky mají stanovení těchto podmínek podobné.

##### 4.4.1 Okrajové podmínky – test 1

K co nejpřesnějšímu zachycení rohatky při testu 1 byly použity podpory nahrazující rohatkový čep (E, F), základní plech (C, G, H, I) a západku (D), dle obr. 4.12. Síly působící při testu jsou zastoupeny vazbami A – síla od působícího strikeru a C – předpětí strikeru.

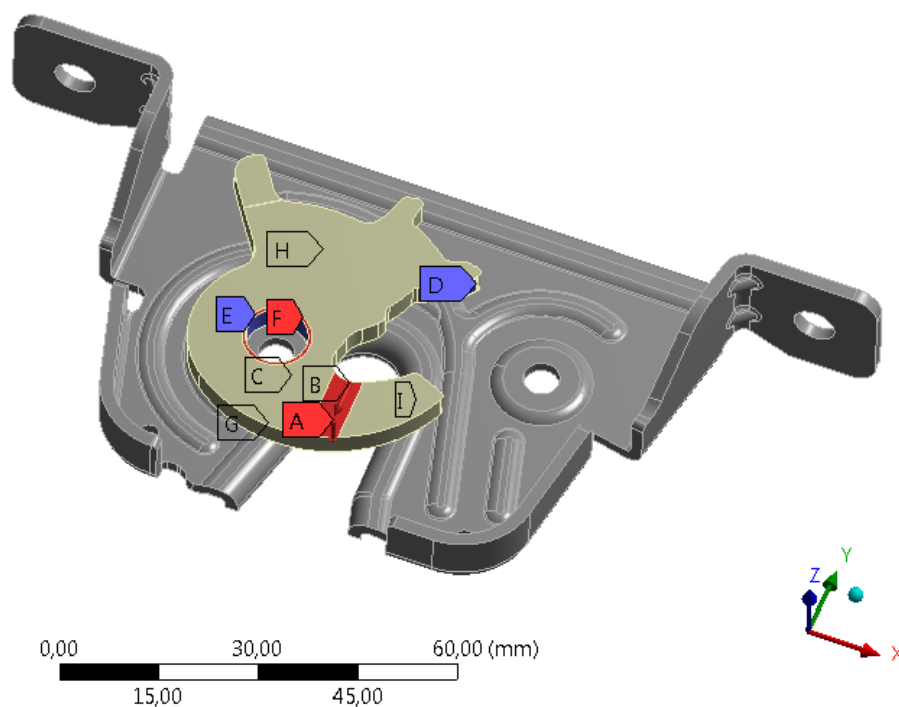


Obr. 4.12 – Okrajové podmínky a zatížení rohatky (test 1)



Podpora „Compression Only Support“ je vazba pevná a neumožňuje posuv ani deformaci. Pomocí podpory „Displacement“ (F) bylo zamezeno pohybu v ose z. Tato podpora nahrazuje osazení na rohátkovém čepu.

Plochy u podpor C, G, H a I nahrazují kontakt rohátky se základním plechem. Tyto plochy byly promítnuty z modelu základního plechu v místech dotyku. Na obr. 4.13 je zobrazena pro představu rohátka včetně modelu základního plechu, který do výpočtu není zařazen.



Obr. 4.13 – Zobrazení rohátky se základním plechem

Jednotlivé komponenty zámku v tomto testu závisí jedna na druhé (základní plech, rohátkový čep a další). Při zahrnutí všech těchto součástí do okrajových podmínek by byl výpočet v programu ANSYS velmi náročný. Jelikož úkolem této práce byla analýza pouze členu rohátky, případně západky, bylo použito tohoto jednoduššího zadání okrajových podmínek se zahrnutím pouze geometrického modelu rohátky, viz obr. 4.12.

Podpora „Elastic Support“ u promítnutých ploch G, H a I je pružná podpora a simuluje deformaci základního plechu. Cílem použití této podpory oproti podpoře „Compression Only Support“ je zamezení vzniku bodového napětí, které by jinak vzniklo na hraně této podpory. Toto bodové napětí by bylo nereálné vzhledem k deformaci, která při testu u základního plechu vznikne. U podpory „Elastic Support“ je nutné zvolit hodnotu tuhosti, na které bude pružná deformace záviset. Zjištění velikosti tuhosti základního plechu je v tomto případě

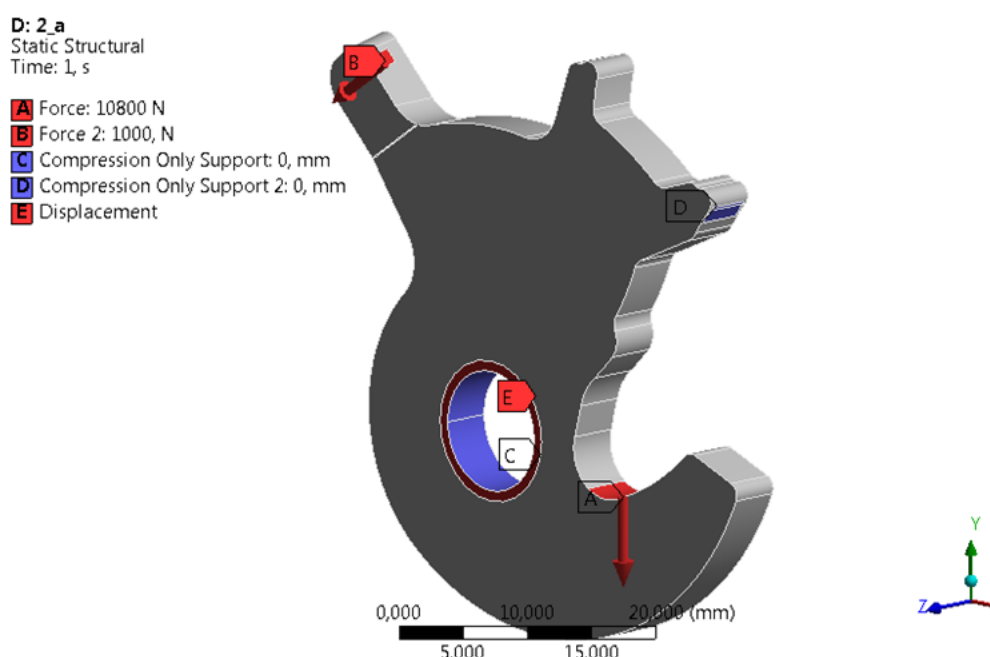
velice složité a jedinou možností jsou experimentální měření. Proto bylo uvažováno z hodnot tuhostí materiálů, které jsou známy a tímto byla přibližně zvolena tuhost pro ocelový díl základního plechu dle [1]. Hodnota tuhosti na plochách v místě dotyku rohatky se základním plechem byla uvažována  $7000 \text{ N/mm}^3$ , viz obr. 4.12.

#### 4.4.2 Okrajové podmínky – test 2

U tohoto testu je zadávání okrajových podmínek jednodušší. Je to dáno díky směru působení hlavní síly. Součástí tohoto testu bude rovněž analýza západky, ale pouze u zámku v primární poloze. Není důvod analyzovat západku v sekundární poloze a v testu 1, protože za těchto podmínek na západku nepůsobí maximální zatížení.

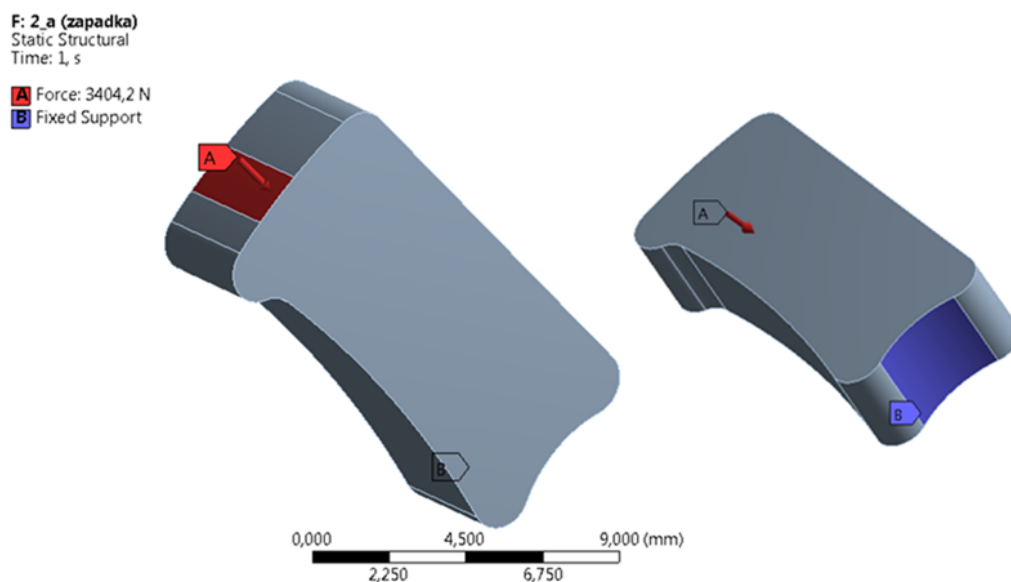
Zadání okrajových podmínek u testu 2 zde uvedu pouze pro zámek X152, při testu určeného pro primární polohu zámku. Okrajové podmínky při sekundární poloze zámku jsou zadávány obdobně, pouze s menší hodnotou velikosti zatěžující síly.

Zadané okrajové podmínky u testu 2 nahrazují rohatkový čep (C, E) a dotyk západky (D) dle obr. 4.14. Typy jednotlivých podpor jsou vysvětleny již v kapitole 4.4.1. Hlavní síla působící od strikeru je zastoupena silou A. Silou B působí na rohatku další komponenta zámku. Síla (B) působí také při testu 1, ale uvažována bude pouze u testu 2, protože rozložení napětí způsobené silou B je stejné u obou typů testů.



Obr. 4.14 – Okrajové podmínky a zatížení rohatky (test 2)

Na obr. 4.15 jsou zobrazeny zadané okrajové podmínky a síla u analýzy západky. Okrajová podmínka nahrazuje podporu západkového čepu, o který se západka opírá. Pro tuto podporu byla použita vazba „Fixed Support“ (B). Fixed Support je pevná vazba, která neumožňuje posuv v žádné ose souřadného systému. Hodnota velikosti síly (A) zadané na západku byla zjištěna z analýzy rohatky pomocí funkce „Force Reaction“ aplikované na podporu D, viz obr. 4.14.



*Obr. 4.15 – Okrajové podmínky a zatížení západky (test 2)*

## 5. Napět'ová analýza stávajících řešení

Tato kapitola se věnuje analýze vybraným členům čtyř zadaných zámků. Primárně půjde o součást - rohatku. Analýza západky byla provedena pouze u testu 2 v primární poloze zámku, kdy je nejvíce zatížena. Analýza rohatky bude provedena pro test 1 a 2 v primární i sekundární poloze zámku. V tab. 5.1 jsou zobrazeny základní parametry rohatky a západky analyzovaných zámků. Zámky jsou zde uvedeny postupně od vývojově nejstaršího (ASTRA) po nejnovější (X152). Lze zde vysledovat, že postupným vývojem se snižovala souhrnná hmotnost rohatky a západky.

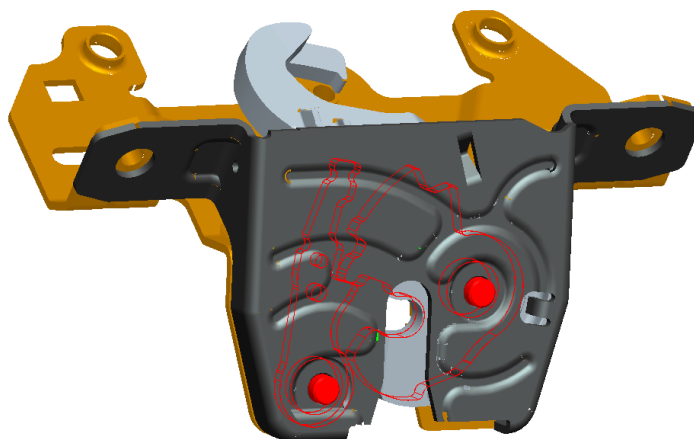
Tab. 5.1 – Základní parametry členů zámků

Typ zámku	Rohatka (kov)			Západka (kov)			Oba členy celkem
	Tloušťka	Objem	Hmotnost	Tloušťka	Objem	Hmotnost	Hmotnost
	[mm]	[mm <sup>3</sup> ]	[g]	[mm]	[mm <sup>3</sup> ]	[g]	[g]
<b>ASTRA</b>	4,5	6191	48,46	3	1762	13,8	62,26
<b>E91</b>	4,5	4271	33,43	3	1867	14,6	48,03
<b>PL6</b>	4	4258	33,32	-	483	3,79	37,11
<b>X152</b>	4	4400	34,43	3,5	290	2,27	36,7

U členů zámku ASTRA, E91 a PL6 bude uvedena možná optimalizaci rohatky. Optimalizaci rohatky zámku X152 bude probírána podrobněji v další kapitole.

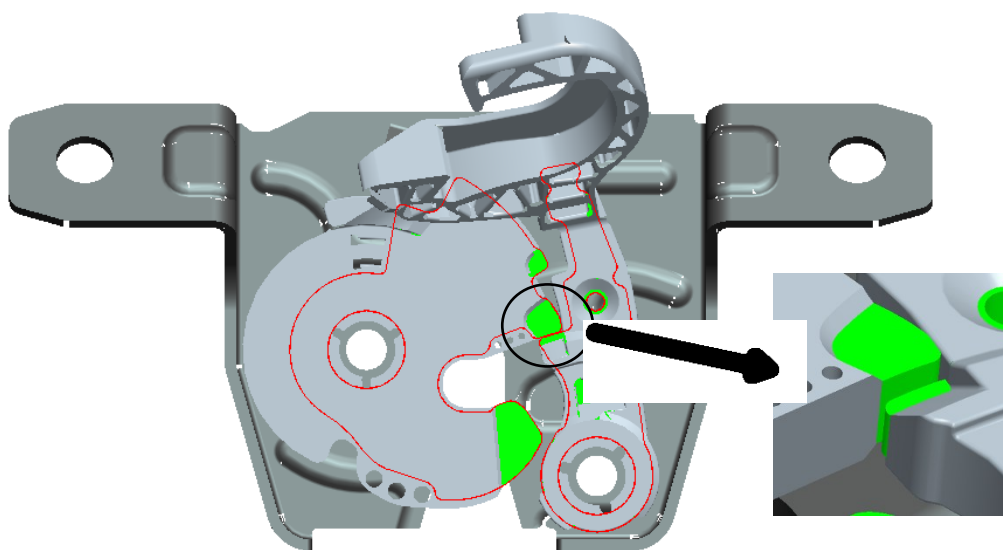
### 5.1 Analýza členů zámku ASTRA při testu 1 a 2

Zámek ASTRA je vývojově nejstarší z analyzovaných zámků. Rohatka zámku je velmi robustní a ze všech analyzovaných zámků má největší hmotnost. Na obr. 5.1 je zobrazen celkový model zámku ASTRA.



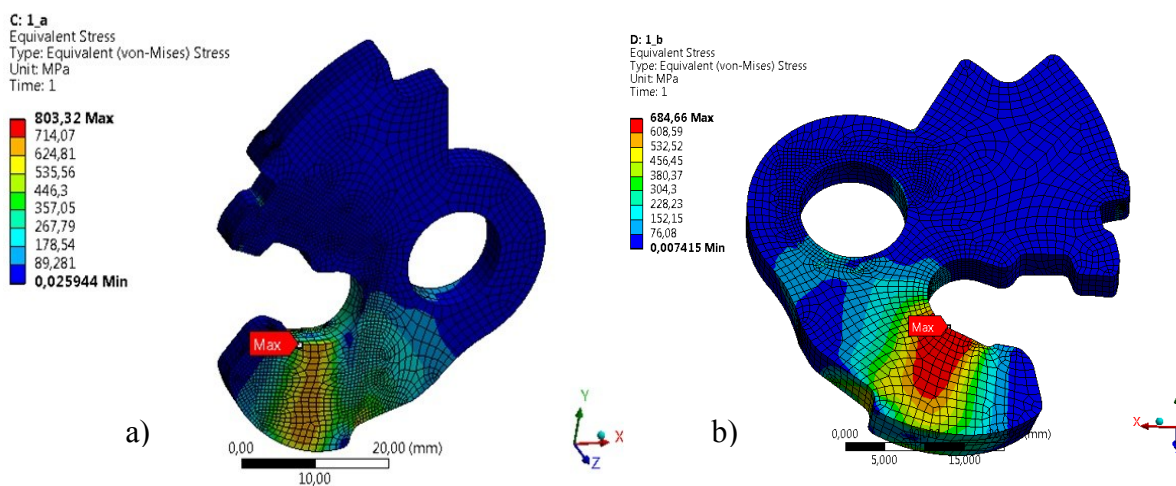
Obr. 5.1 – Zámek ASTRA

Na obr. 5.2 je zobrazen základní plech s rohatkou a západkou. Červený obrys znázorňuje kovovou část rohatky a západky. Tento typ zobrazení je použit u všech analyzovaných zámků.

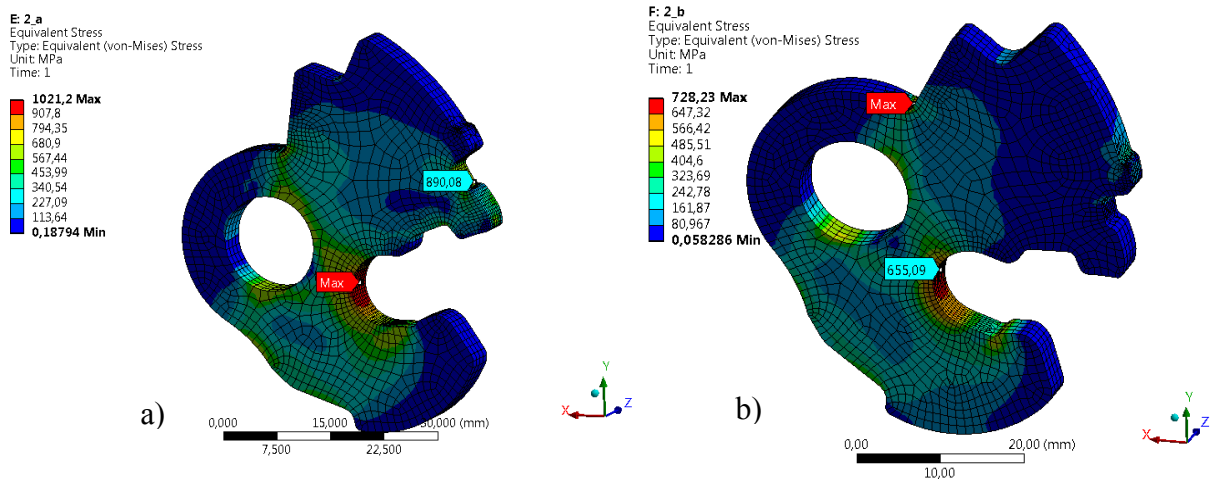


Obr. 5.2 – Zobrazení vybraných komponent zámku ASTRA

Rozložení napětí v rohatce při testu 1 a 2 v primární a sekundární poloze zámku je zobrazeno na obr. 5.3 a 5.4.

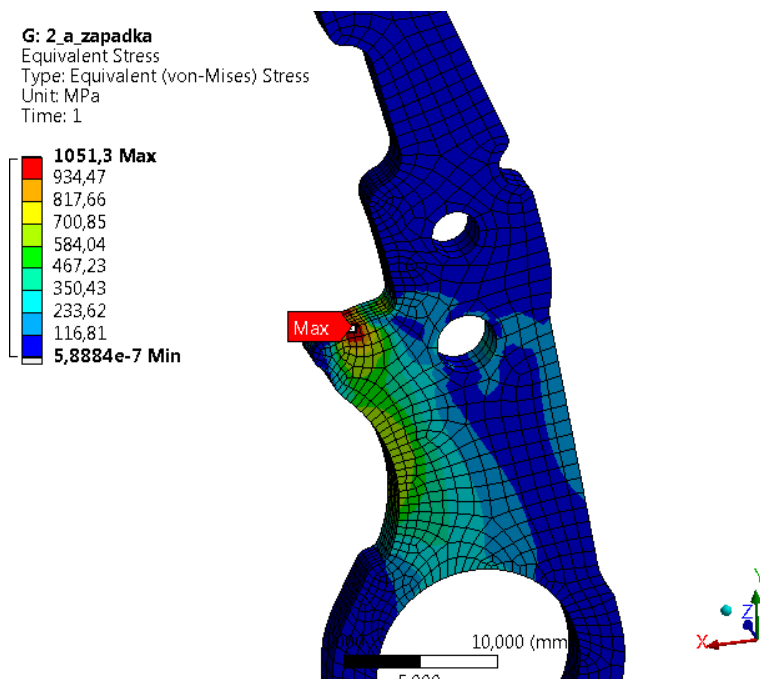


Obr. 5.3 – Test 1, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku



Obr. 5.4 – Test 2, rohátka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku

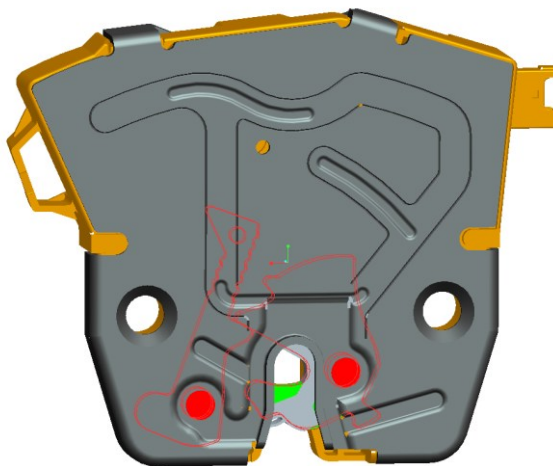
Na obr. 5.5 je zobrazeno rozložení napětí u západky při testu 2. Maximální napětí u této analýzy je bodové v místě dotyku rohátky se západkou. Vyšší hodnota napětí může být způsobena polohou dotyku rohátky a západky, viz detail obr. 5.2.



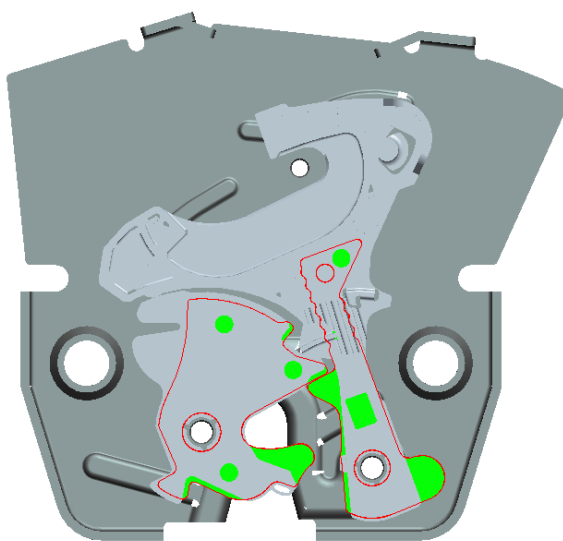
Obr. 5.5 – Test 2, západka v primární poloze zámku

## 5.2 Analýza členů zámku E91 při testu 1 a 2

Tento zámek má hmotnost rohatky v porovnání se zámkem ASTRA nižší (~ 30%). Hmotnost rohatky u tohoto zámku oproti zámkům PL6 a X152 se již výrazně neliší. Na obr. 5.6 je zobrazen celkový model zámku E91 a na obr. 5.7 je zobrazen základní plech včetně rohatky a západky.



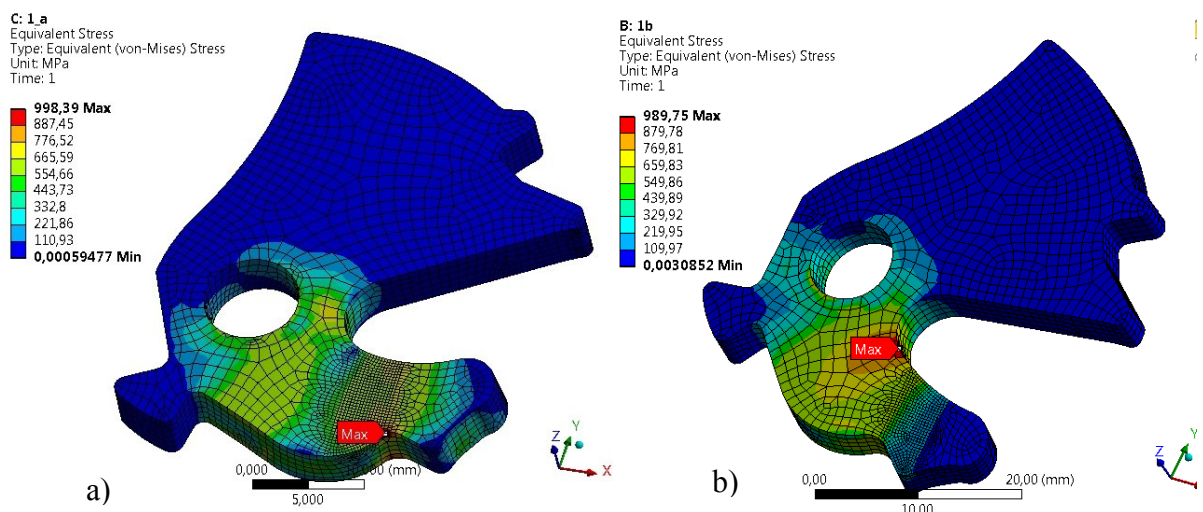
*Obr. 5.6 – Zámek E91*



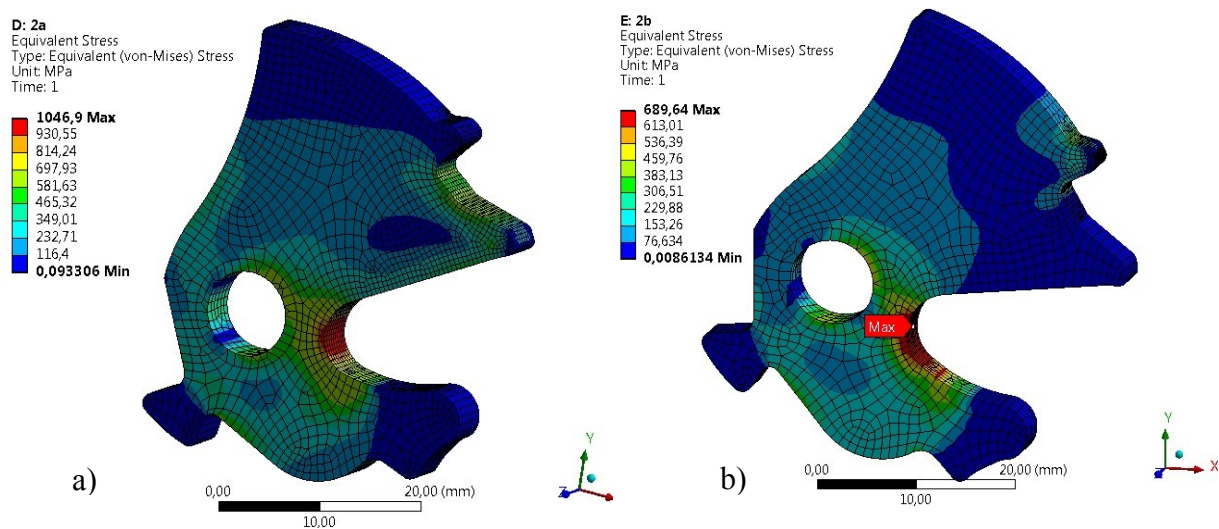
*Obr. 5.7 – Zobrazení vybraných komponent zámku E91*



Rozložení napětí v rohatce při testu 1 a 2 v primární a sekundární poloze zámku je zobrazeno na obr. 5.8 a 5.9. Maximální napětí při testu 1 u rohatky v sekundární poloze zámku není o moc nižší než v primární poloze, kdy působí mnohem větší síla. Důvodem je změna umístění polohy působící síly.



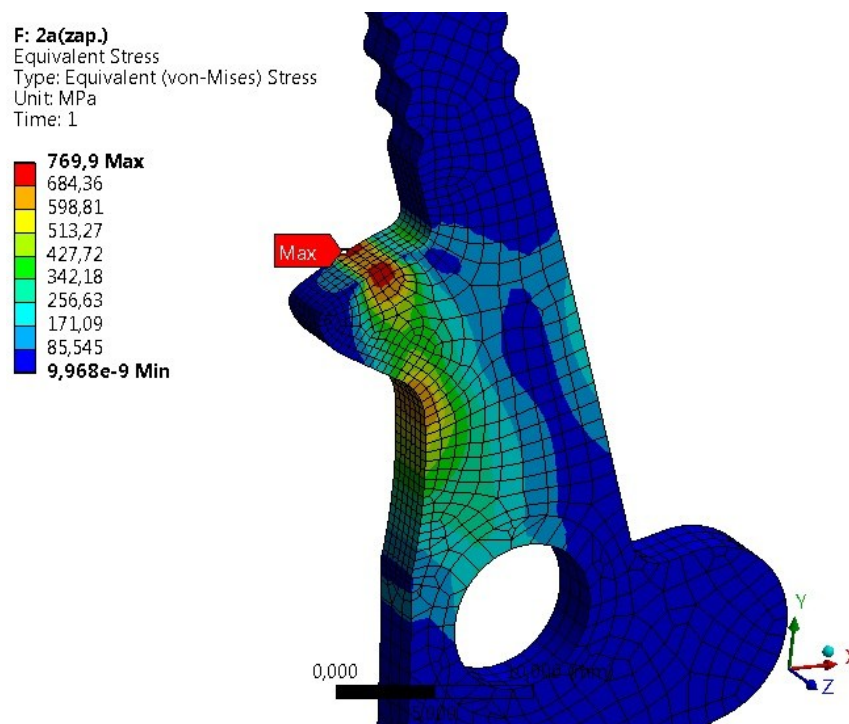
Obr. 5.8 – Test 1, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku



Obr. 5.9 – Test 2, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku



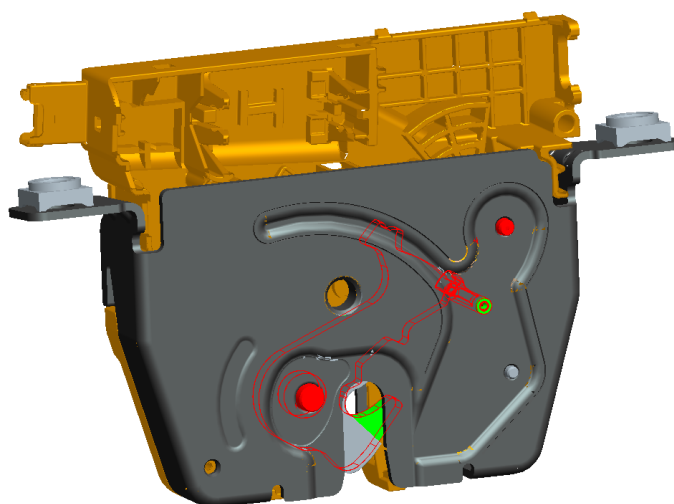
Na obr. 5.10 je zobrazena napěťová analýza západky při testu 2. Maximální napětí u této analýzy je opět bodové v místě dotyku rohatky se západkou, ale s výrazně nižší hodnotou oproti zámku ASTRA.



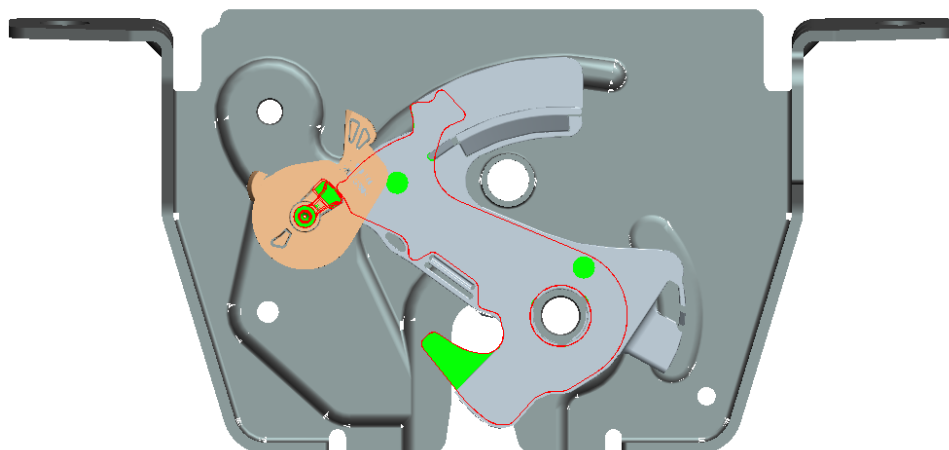
*Obr. 5.10 – Test 2, západka v primární poloze zámku*

### 5.3 Analýza členů zámku PL6 při testu 1 a 2

Na obr. 5.11 je zobrazen celkový model zámku PL6 a na obr. 5.12 jsou vidět komponenty zámku - základní plech, rohatka a západka.

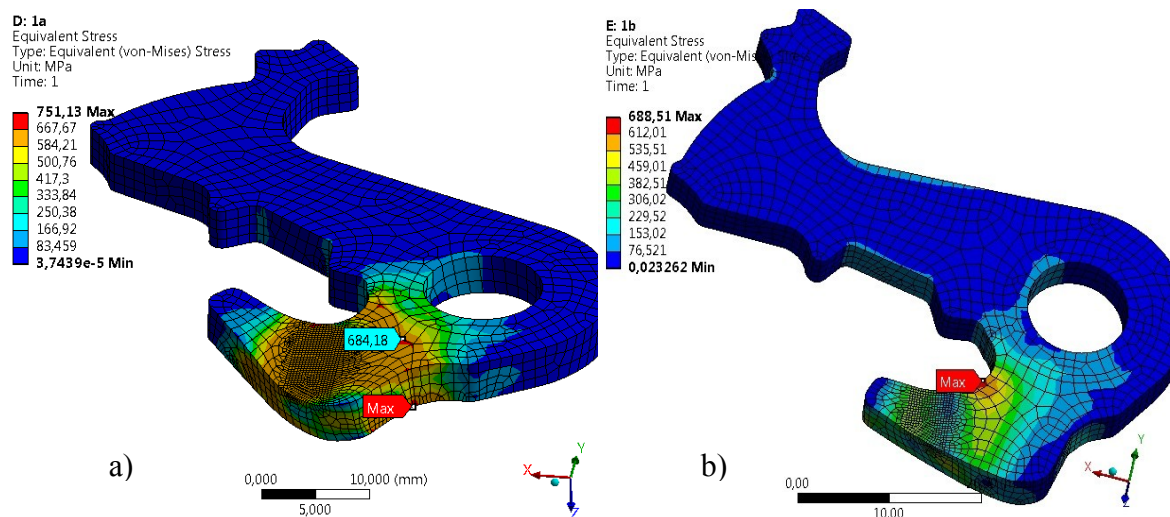


*Obr. 5.11 – Zámek PL6*

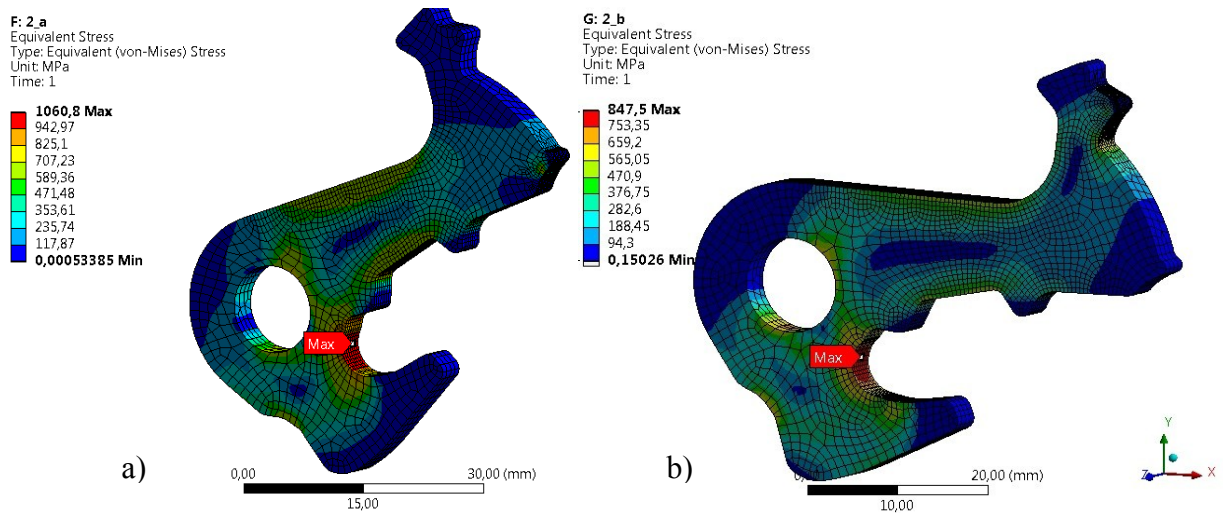


Obr. 5.12 – Zobrazení vybraných komponent zámku PL6

Rozložení napětí v rohatce při testu 1 a 2 v primární a sekundární poloze zámku je zobrazeno na obr. 5.13 a 5.14.

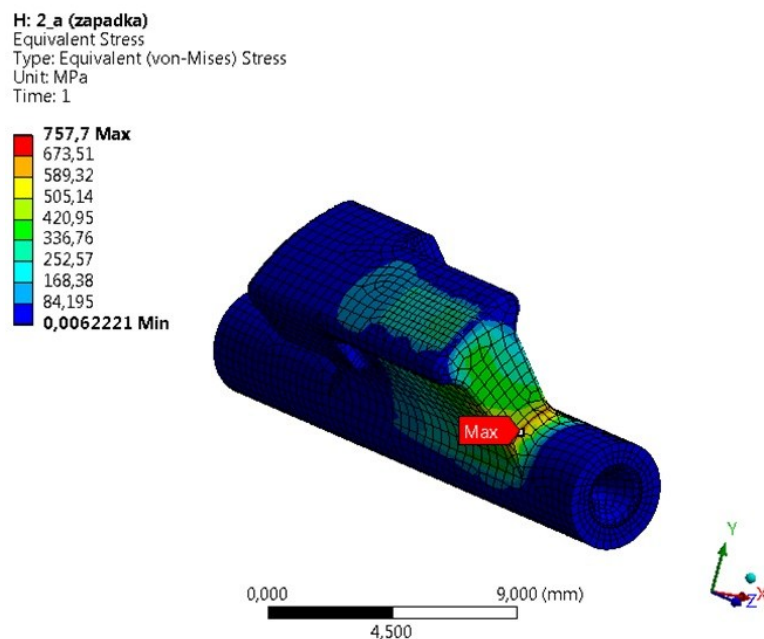


Obr. 5.13 – Test 1, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku



Obr. 5.14 – Test 2, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku

Tvar západky u tohoto zámku je řešen snahou o výrazné ušetření materiálu oproti zámkům ASTRA a E91. Tento tvar západky je navržen jako součást rohatkového čepu. Na obr. 5.15 je zobrazena napěťová analýza západky při testu 2.

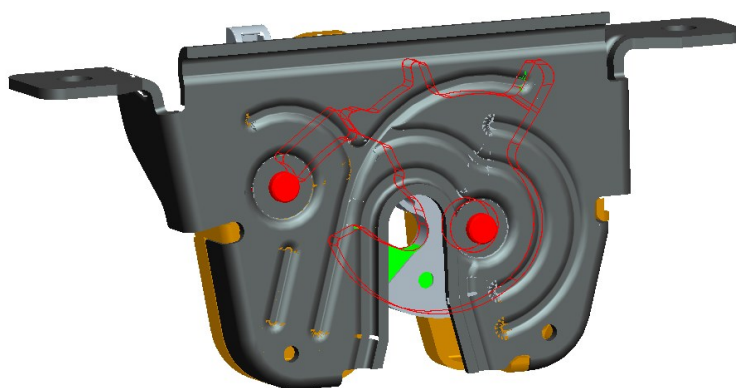


Obr. 5.15 – Test 2, západka v primární poloze zámku

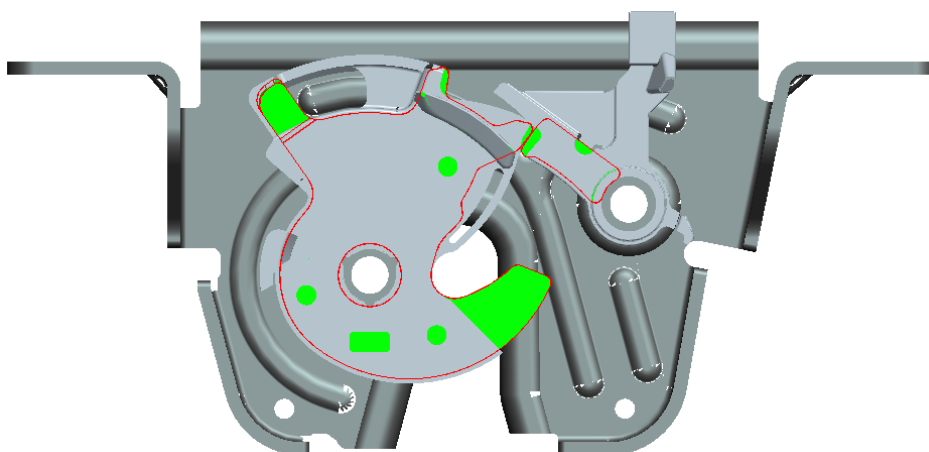
#### 5.4 Analýza členů zámku X152 při testu 1 a 2

Tento zámek je v současné době ve stádiu vývoje. Proto je zadáním této práce upravit tvar rohatky, případně západky s cílem ušetřit materiál. Další kapitola bude zaměřena na možnosti optimalizace rohatky. Optimalizace západky vzhledem ke svému tvaru již moc možností

nenabízí, proto bude uvažováno pouze s optimalizací rohatky. Na obr. 5.16 je zobrazen zámek X152 a na obr. 5.17 vybrané komponenty zámku.

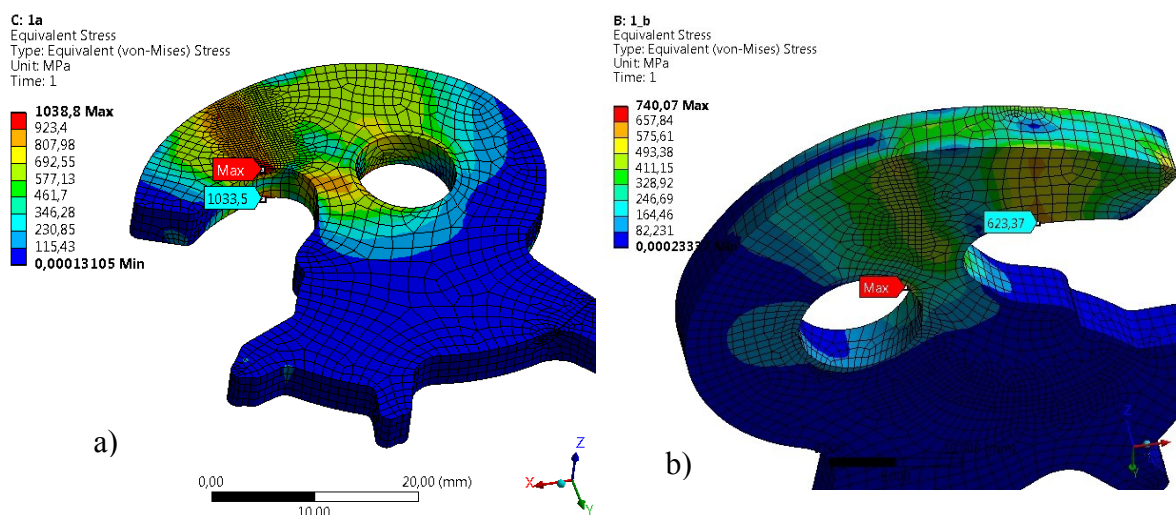


*Obr. 5.16 – Zámek X152*

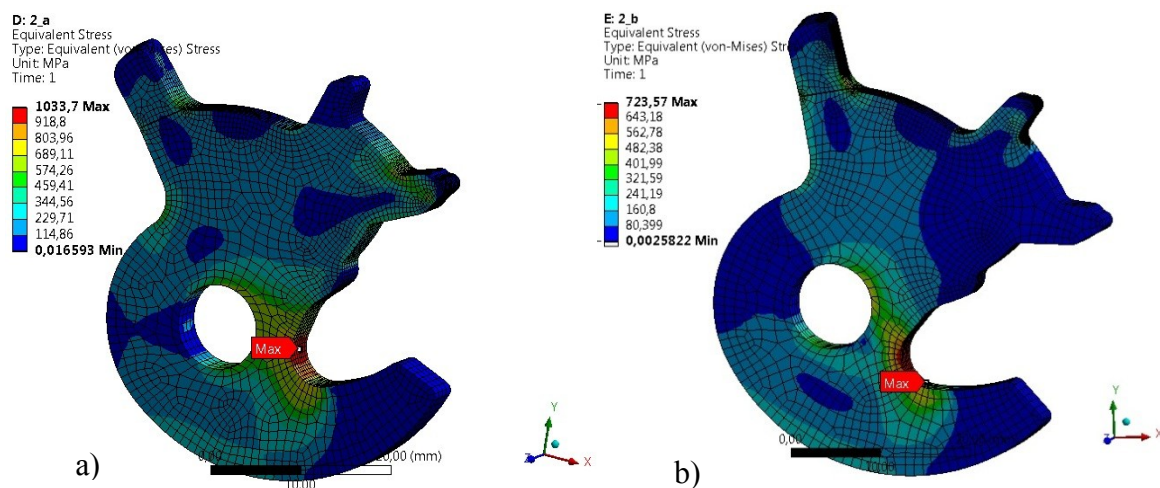


*Obr. 5.17 – Zobrazení vybraných komponent zámku X152*

Rozložení napětí v rohatce při testu 1 a 2 v primární a sekundární poloze zámku je zobrazeno na obr. 5.18 a 5.19.

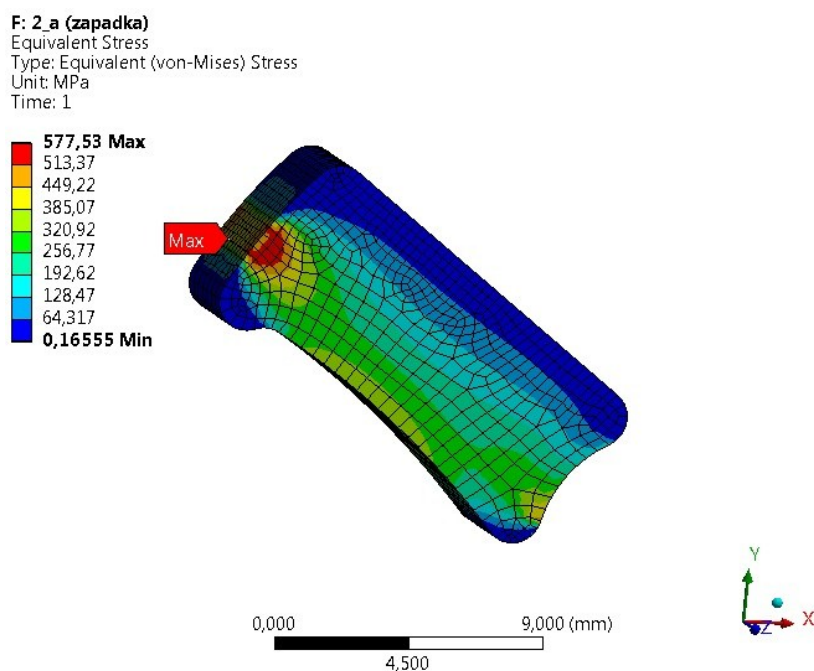


*Obr. 5.18 – Test 1, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku*



Obr. 5.19 – Test 2, rohátka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku

Na obr. 5.20 je zobrazena napěťová analýza západky při testu 2. Z tvaru západky lze v porovnání se západkami předchozích zámků vidět velký pokrok v oblasti optimalizace těchto členů. Západka je zde řešena pouze jako jednoduchý člen, který přenáší zatížení z rohátky přes západku na západkový čep.



Obr. 5.20 – Test 2, západka v primární poloze zámku

## 5.5 Vyhodnocení analýz

Maximální hodnoty napětí dle tab. 5.2 získané analýzami ukazují, že členy zámků vyhoví testům dle normy FMVSS 206. Se zahrnutím bezpečnosti 20% žádná hodnota nepřekonalala velikost napětí 1100 MPa což je  $R_m$  materiálu 16MnCr5 ze kterého je vyrobena rohatka a západka.

Tab. 5.2 – Maximální hodnoty napětí získané analýzami

		Max. napětí [MPa]				
		Test 1		Test 2		
		Primární	Sekundární	Primární	Primární	Sekundární
		Rohatka	Rohatka	Rohatka	Západka	Rohatka
Typ zámku	ASTRA	803	685	1021	1051	728
	E91	998	990	1047	770	690
	PL6	751	689	1061	758	848
	X152	1039	740	1034	578	724

Z výsledných maximálních hodnot napětí vyplývá, že k největšímu namáhání dochází většinou u rohatky při testu 2 v primární poloze zámků. Největší hodnota napětí vyšla u zámků PL6 - 1061 MPa. Vyšší hodnota napětí oproti ostatním zámkům vychází také u rohatky zámků X152 v testu 1 při primární poloze zámků – 1039 MPa.

Na hodnoty dosaženého napětí analyzovaných členů zámků má vliv mnoho faktorů např. tvar rohatky (tloušťka), tvar základního plechu a s tím spojené plochy dotyku mezi základním plechem a rohatkou, velikost plochy působícího zatížení, aj. Vliv má ale také samotný způsob zadávání podmínek MKP analýzy tzn. velikost prvků konečno – prvkového modelu, zadání okrajových podmínek, aj.



## 6. Opakující se optimalizace

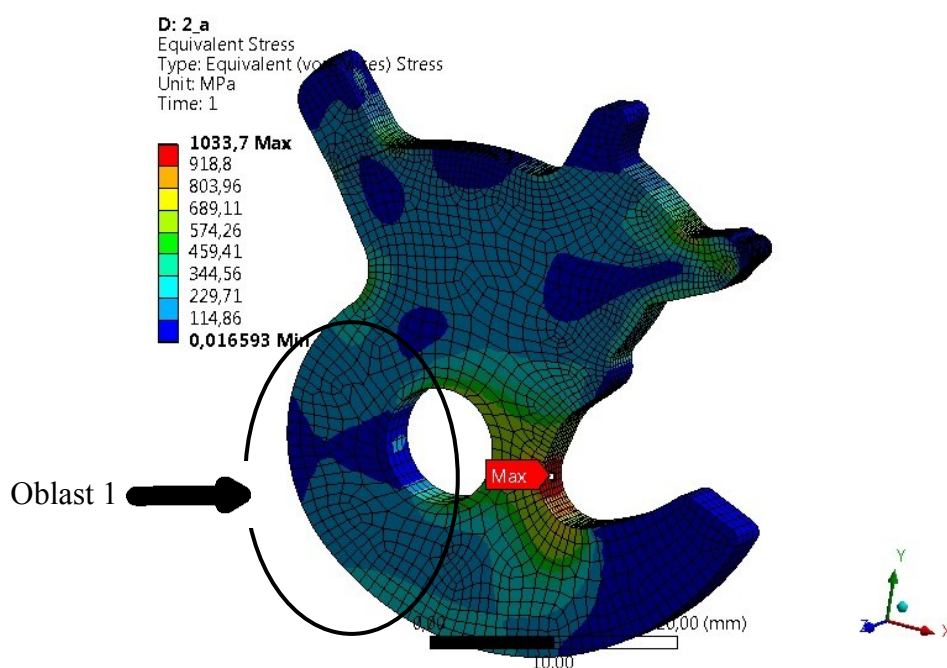
V této kapitole budou vyhodnoceny možnosti optimalizace analyzovaných členů zámků. Jaké možnosti optimalizace se u analyzovaných členů vyskytují opakovaně. Z těchto optimalizací bude poté vycházeno při návrhu nových geometrických tvarů rohatky zámku X152.

- a) Změna tloušťky rohatky (aplikace – zámek ASTRA, E91).

Rohatka zámku ASTRA a E91 má tloušťku 4,5 mm, u ostatních zámků má rohatka tloušťku 4 mm. Při změně tloušťky na hodnotu 4 mm se maximální hodnota napětí zásadně nezvýší vzhledem k hodnotám napětí získaných z analýz.

- b) Změna šířky rohatky v oblasti 1 dle obr. 6.1 (aplikace – zámek ASTRA, PL6 a X152).

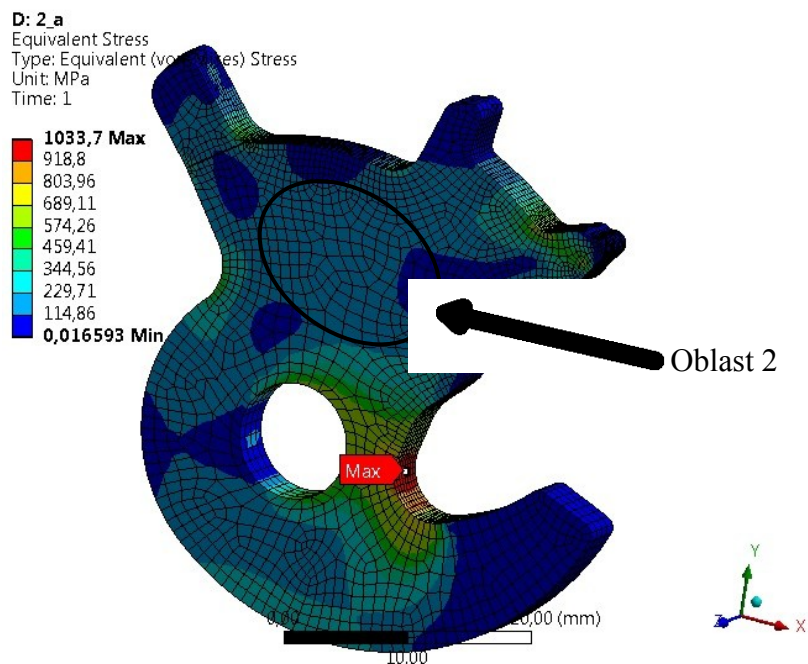
V této oblasti nedochází ke kumulaci napětí a je zde možné zmenšit šířku mezi otvorem pro rohatkový čep a vnějším obrysem součásti. Je zde možné také vytvořit odlehčovací otvory, ale ty mají zásadní omezení. Toto omezení bude uvedeno v další kapitole. U zámku E91 je šířka stěny v této oblasti již dosti malá a proto není optimalizace v této oblasti vhodná.



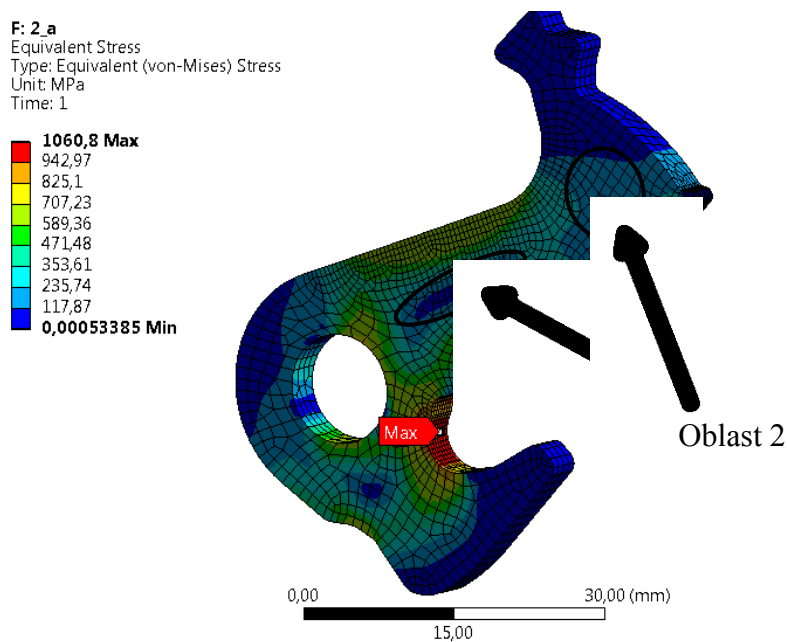
Obr. 6.1 – Zobrazení oblasti 1 rohatky X152

- c) Vytvoření odlehčení v centrální části – oblast 2 rohatky dle obr. 6.2 (aplikace – zámek ASTRA, E91, PL6 a X152).

Tuto optimalizaci je možné uplatnit u všech analyzovaných členů jednotlivých zámků a to podle tvaru samotné rohatky formou jednoho odlehčovacího otvoru např. pro rohatku zámku X152, nebo pomocí 2 menších otvorů u rohatky zámku PL6, viz obr. 6.3.



Obr. 6.2 – Zobrazení oblasti 2 rohatky X152



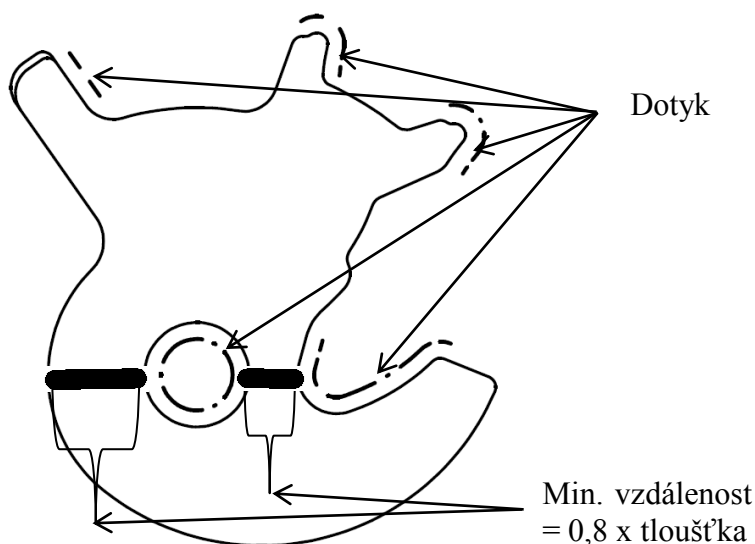
Obr. 6.3 – Zobrazení oblasti 2 rohatky PL6



## 7. Optimalizace rohatky zámku X152

Při optimalizaci rohatky je potřeba se řídit určitými zásadami, které je nutné respektovat.

- a) Součást je vyráběna tvářením za studena - stříháním. Proto je dána minimální vzdálenost mezi obrysem součásti a vnitřním otvorem minimálně  $0,8 \times \text{tloušťka rohatky}$ , v tomto případě  $0,8 \times 4 = 3,2 \text{ mm}$ , viz obr. 7.1. Při nedodržení této podmínky by nebyl dostatek prostoru v nástroji pro oporu stříhu.
- b) Materiál zůstává stejný – kov 16MnCr5.
- c) Je možné odebírat materiál z obrysu součásti pouze v místech, kde nedochází ke kontaktu s ostatními členy zámku, viz obr. 7.1.



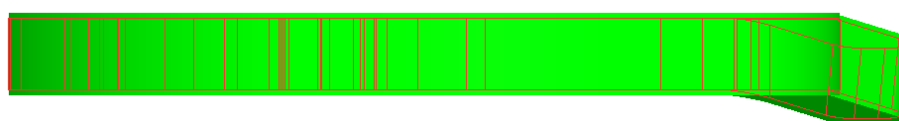
Obr. 7.1 – Místa dotyku rohatky (tvar původní verze)

- d) Nutnost respektovat konstantní tloušťku rohatky.
- e) Minimální velikost průměru otvoru pro odlehčení musí být stejná, jako je hodnota tloušťky rohatky.

## 7.1 Navržené verze optimalizací

Při optimalizaci bylo čerpáno převážně z variant uvedených v kapitole 6. Každá z navržených optimalizací rohatky bude podrobena totožným analýzám jako u původní verze před optimalizací.

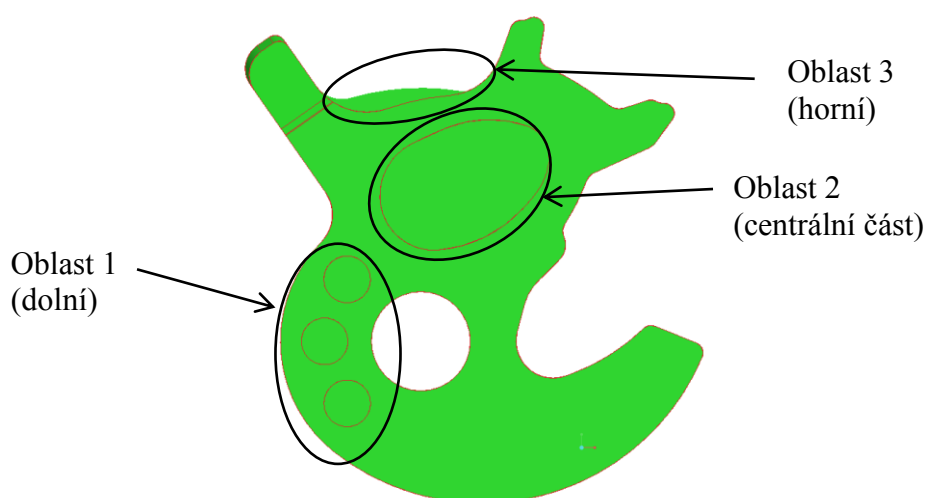
Na obr. 7.2 je zobrazena optimalizace rohatky - verze 1. Byla zde zmenšena tloušťka rohatky z hodnoty 4 mm na hodnotu 3,5 mm. Na následujících obrázcích navržených verzí optimalizací je optimalizovaný tvar označen vždy červeným obrysem. Původní má zelený obrys.



*Obr. 7.2 – Optimalizace rohatky X152 – verze 1*

Optimalizace verze 2 až verze 4 jsou podobné. Materiál je odebrán z centrální části rohatky a v určitém místě také z obrysu. Stejný tvar odebrání materiálu je v horní části obrysu rohatky (oblast 3) dle následujících obrázků.

U verze 2, viz obr. 7.3 je oblast 1 odlehčena pomocí 3 otvorů o průměru 4,5 mm. Tato verze optimalizace je zde uvedena pouze ukázkově vzhledem k faktu, že nesplňuje kritérium a) uvedené v kapitole 7.



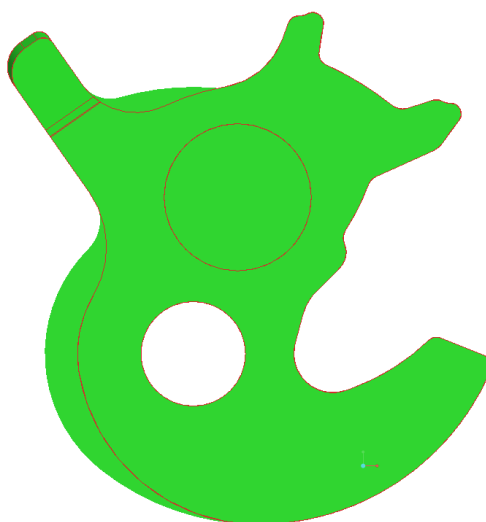
*Obr. 7.3 – Optimalizace rohatky X152 – verze 2*

Na obr. 7.4 je zobrazena verze 3. U této verze je odlehčení oblasti 1 řešeno změnou obrysového tvaru součástí. Změna tvaru obrysu je výhodná z pohledu úspory prostoru v nástřihovém plánu. Tímto dojde ke zlevnění dílu.



*Obr. 7.4 – Optimalizace rohatky X152 – verze 3*

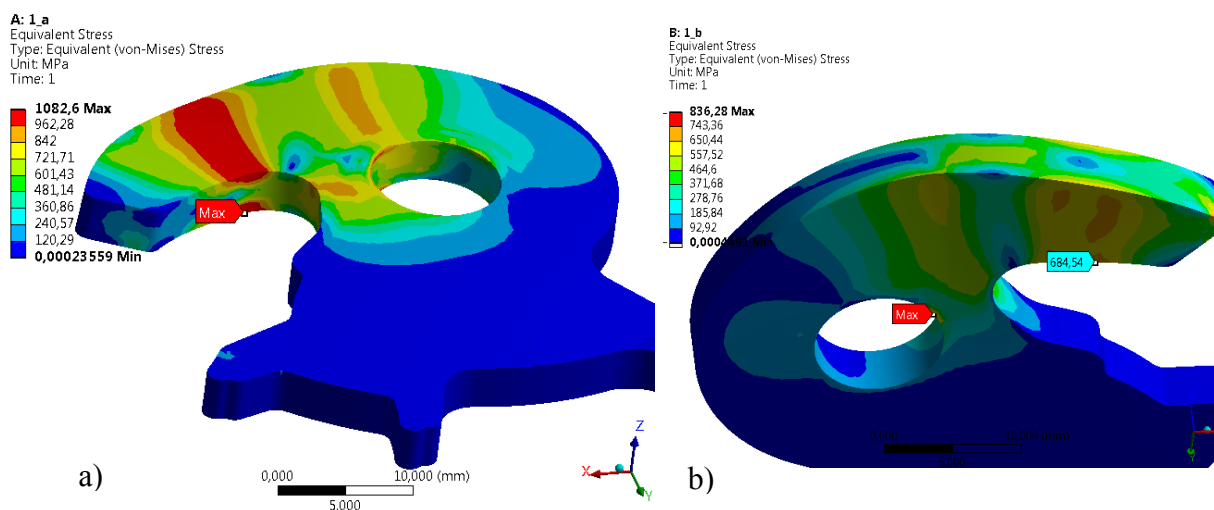
V optimalizaci – verze 4 je nahrazen otvor oválného tvaru v centrální části tvarem kruhovým, viz obr. 7.5. Ostatní tvary optimalizace jsou totožné s verzí 3.



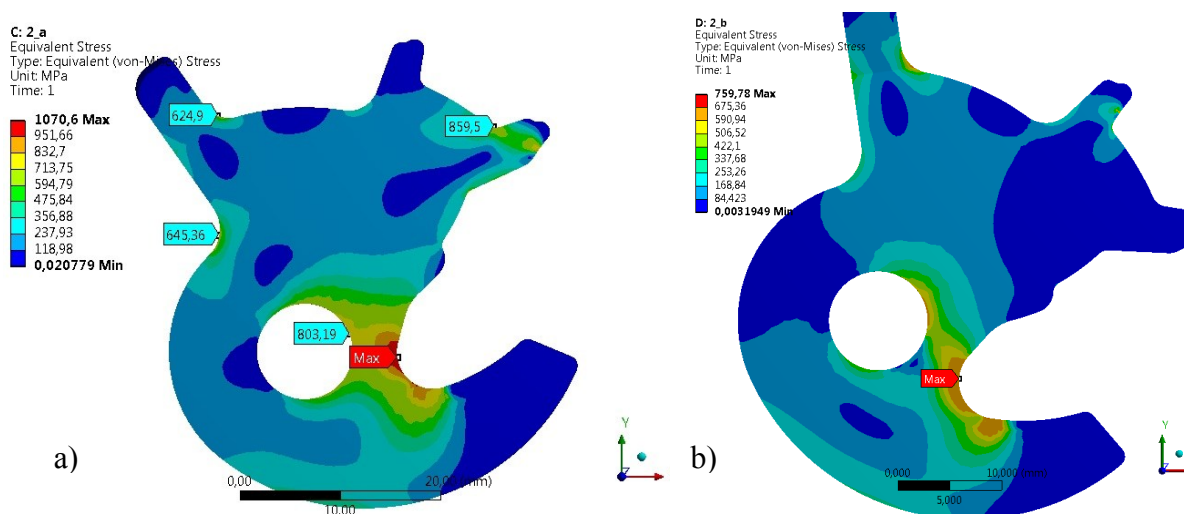
*Obr. 7.5 – Optimalizace rohatky X152 – verze 4*

## 7.2 Analýza rohatky zámku X152 – verze 1

U analýzy testu 1 zámku v primární poloze je v nejkritičtější oblasti velikost napětí velmi vysoká - 1083 MPa, viz obr. 7.6. Také u analýzy testu 2, viz obr. 7.7, je hodnota velikosti napětí vyšší v porovnání s ostatními verzemi optimalizací.



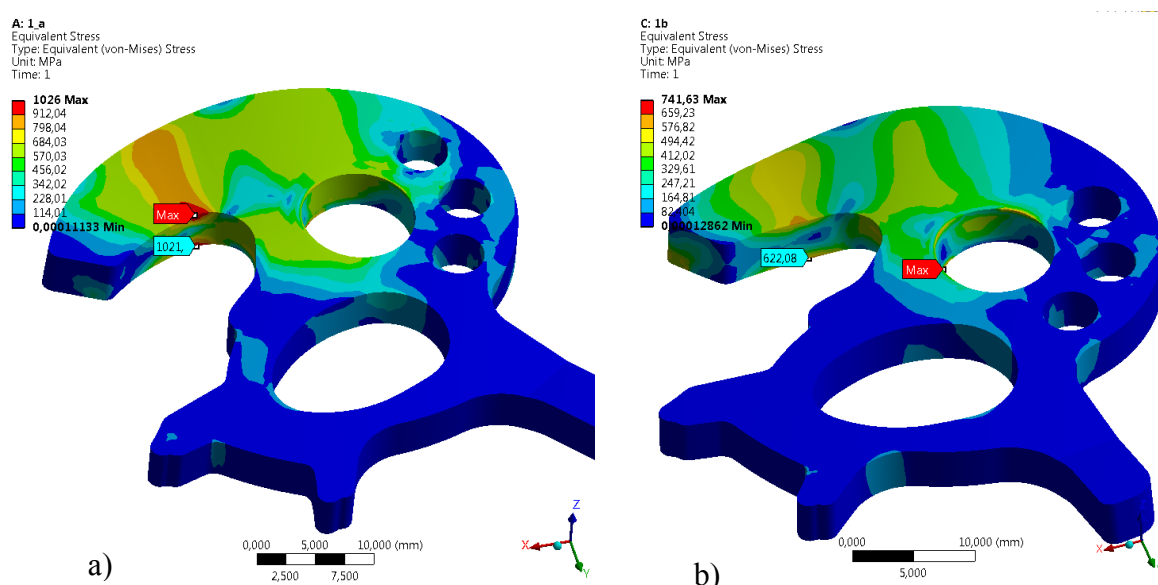
Obr. 7.6 – Test 1, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku



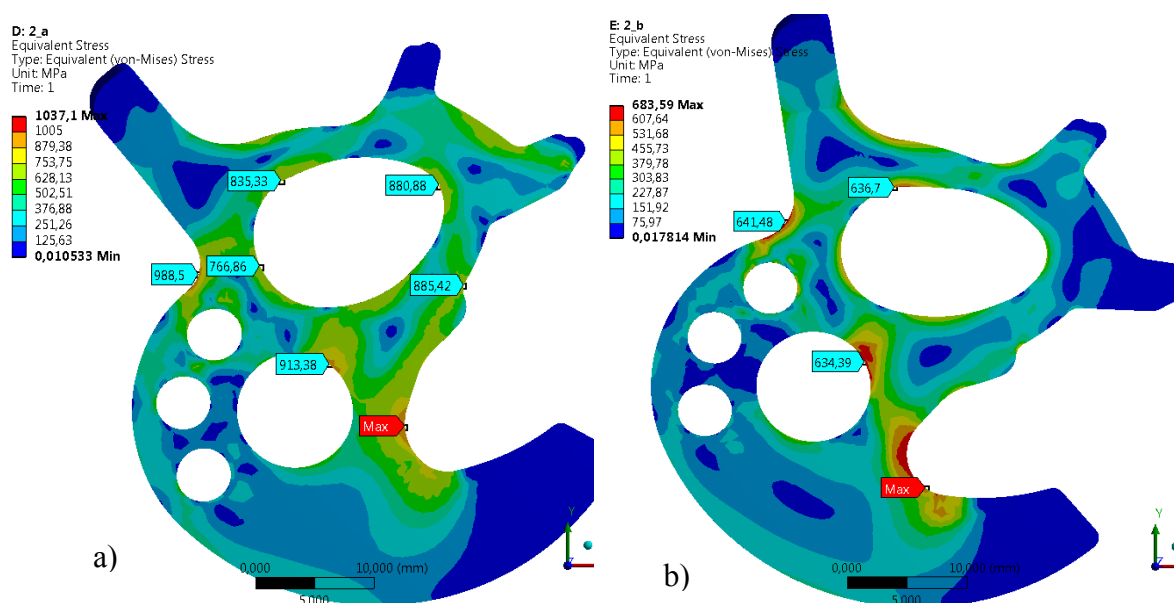
Obr. 7.7 – Test 2, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku

### 7.3 Analýza rohatky zámku X152 – verze 2

Optimalizace verze 2 obsahuje kromě centrálního odlehčení a změny obrysu v horní části rohatky také odlehčovací otvory. U analýzy testu 1, viz obr. 7.8 je maximální hodnota nižší než u analýzy původní verze rohatky X152, tj. 1026 MPa oproti 1039 MPa. Nižší hodnoty napětí u testu 1 jsou také u následujících verzí optimalizace tj. 3 a 4. U analýzy testu 2, viz obr. 7.9 je rozložení napětí v rohatce velice příznivé a hodnota maximálního napětí je v porovnání s původní verzí podobná. Umístění tří odlehčovacích otvorů nesplňuje podmínku minimální vzdálenosti od obrysu součásti, která je minimálně 0,8 x tloušťka materiálu, viz kritérium a) v kapitole 7. Z tohoto důvodu je optimalizace součásti – verze 2 nevyrobitelná.



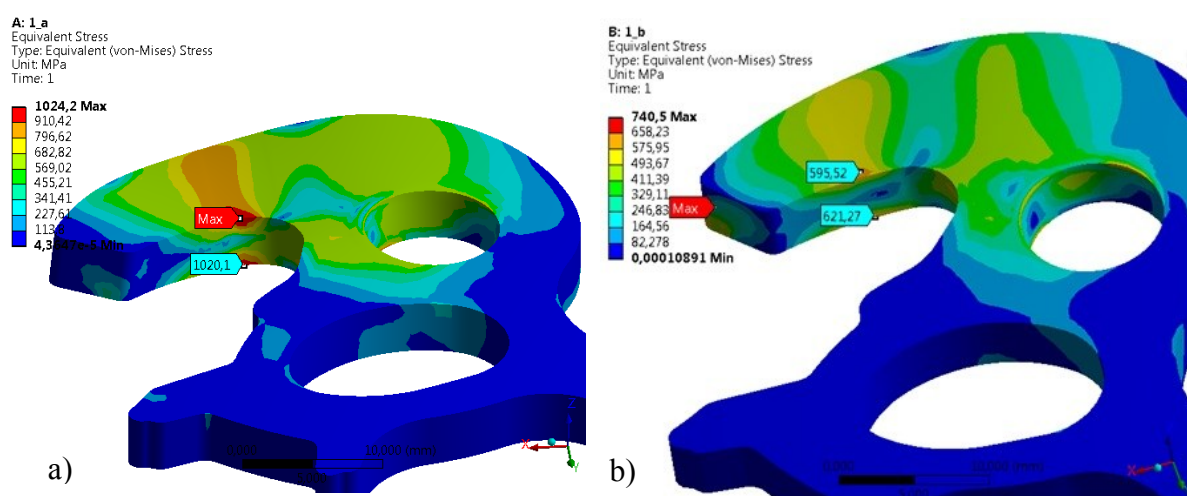
Obr. 7.8 – Test 1, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku



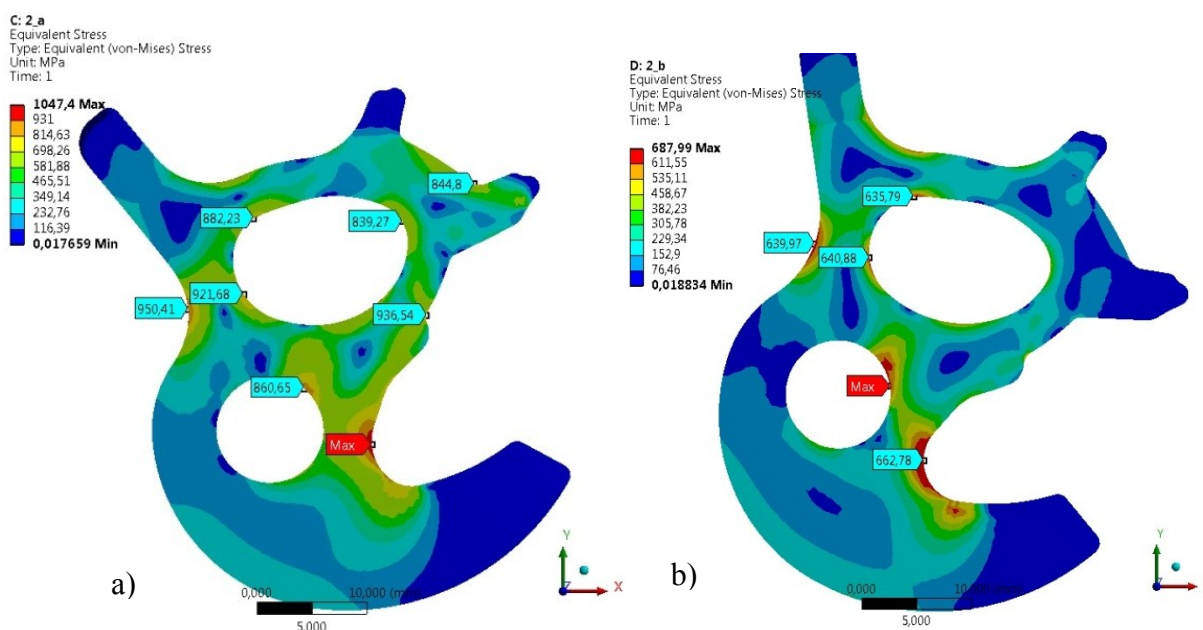
Obr. 7.9 – Test 2, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku

## 7.4 Analýza rohatky zámku X152 – verze 3

Tvar odlehčení v dolní oblasti rohatky je zde řešeno odebráním materiálu z obvodu. Tímto dojde k vyšší úspoře materiálu, než u verze 2, kdy se použily tři odlehčovací otvory. Z hlediska výroby tato verze vyhovuje všem zásadám uvedeným v kapitole 7. Maximální hodnota napětí u testu 2 je vyšší pouze o 13 MPa v porovnání s původní verzí rohatky. Hodnoty velikostí napětí zobrazených na obr. 7.10 a 7.11 jsou přijatelné z hlediska pevnosti součásti.



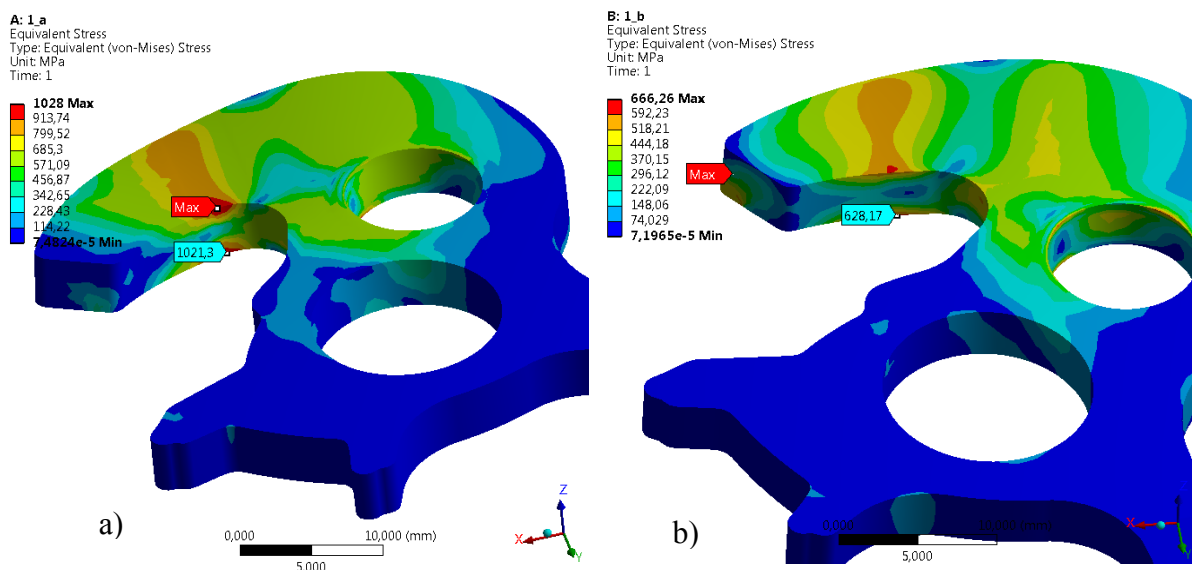
Obr. 7.10 – Test 1, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku



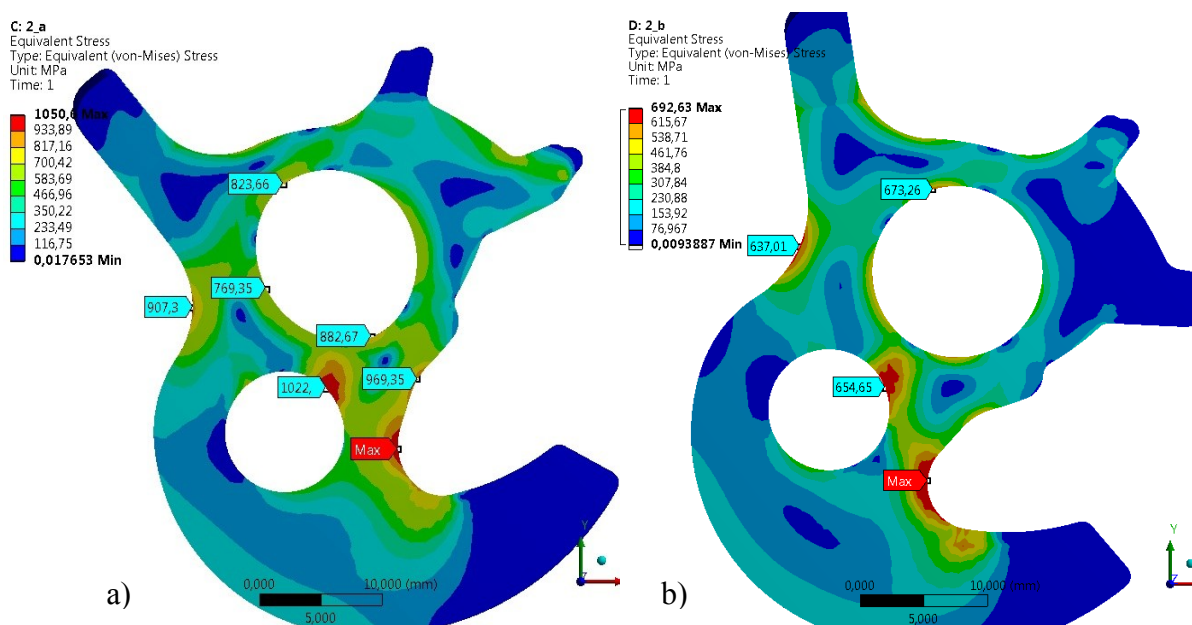
Obr. 7.11 – Test 2, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku

## 7.5 Analýza rohatky zámku X152 – verze 4

V této poslední verzi byl změněn tvar otvoru v centrální části rohatky z oválného na kruhový. Optimalizace – verze 4 splňuje všechny výrobní kritéria stanovená v kapitole 7. Analýza testu 1 je zobrazena na obr. 7.12. Na obr. 7.13 je zobrazena analýza testu 2. Maximální hodnota napětí je zde 1051 MPa což je nepatrně vyšší než u verze 3. Výrazně vyšší velikost napětí je zde v oblasti mezi otvorem pro rohatkový čep a odlehčením v centrální oblasti – 1022 MPa.



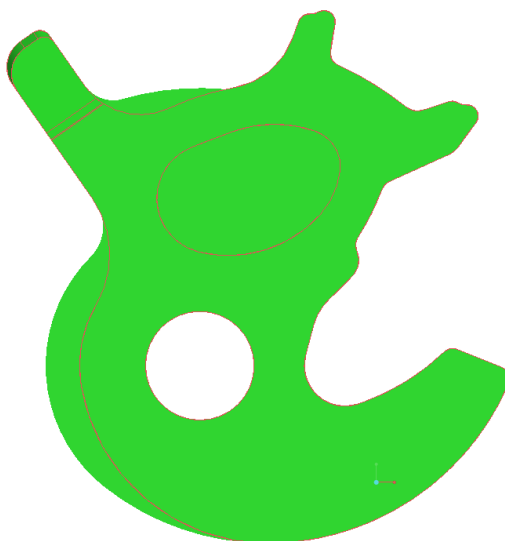
Obr. 7.12 – Test 1, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku



Obr. 7.13 – Test 2, rohatka v primární (a) a sekundární (b) poloze zámku

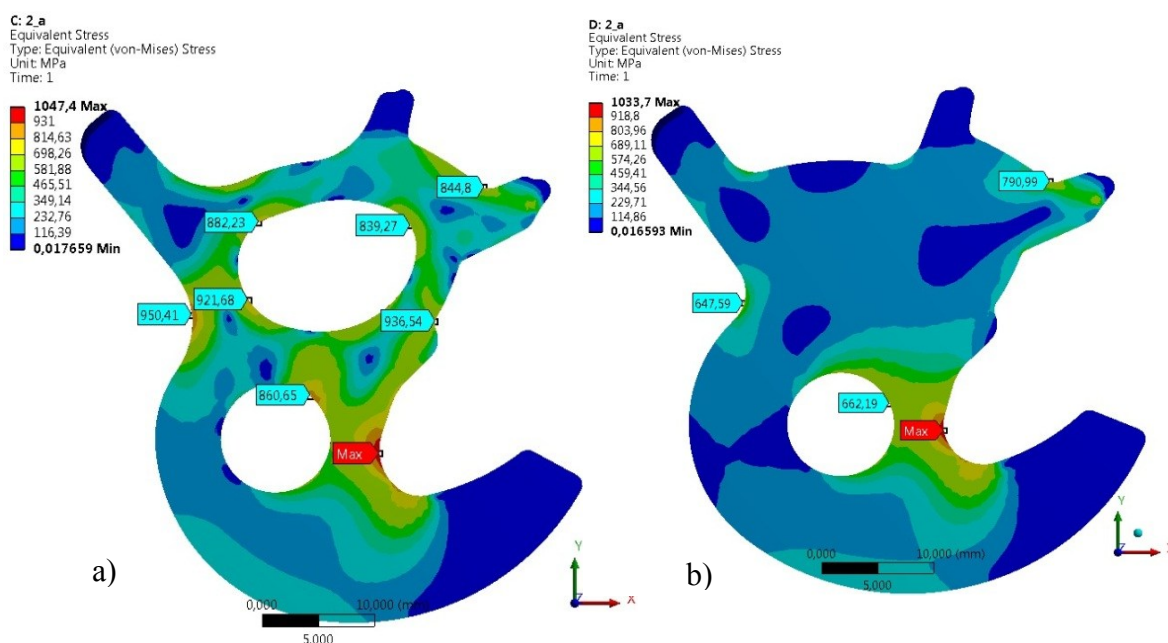
## 7.6 Výběr konečné varianty a porovnání s původní verzí

Jako nejvýhodnější z uvedených verzí optimalizace se jeví verze 3, viz obr. 7.14. Pozměněný tvar splňuje požadavky na výrobu a vyhovuje z hlediska pevnostního rozložení napětí, viz analýza kap. 7.4.



Obr. 7.14 – Konečný optimalizovaný tvar rohatky X152 – verze 3

Na obr. 7.15 je zobrazeno porovnání optimalizace rohatky - verze 3 s původní verzí při analýze testu 2 zámku v primární poloze.



Obr. 7.15 – Srovnání konečné optimalizace (a) rohatky s původní (b) při analýze testu 2



V tab. 7.1 jsou uvedeny maximální hodnoty napětí vycházející z analýz testů 1 a 2 vybraných verzí optimalizací rohatky X152 v porovnání s původní verzí. Z této tabulky je zřejmé, že vysoké hodnoty napětí jsou u analýzy – verze 1. Ostatní verze již mají maximální napětí vyhovující, ale nevyhovují v jiných parametrech, viz předchozí popis u jednotlivých verzí analýz.

Tab. 7.1 – Hodnoty maximálního napětí pro vybrané verze optimalizace rohatky X152

		Max. napětí [MPa]			
		Test 1		Test 2	
	Poloha →	Primární	Sekundární	Primární	Sekundární
<b>Varianta</b>	X152 – stávající	1039	740	1034	724
	1	1083	836	1071	760
	2	1026	742	1037	684
	<b>3 (konečná)</b>	1024	741	1047	688
	4	1028	666	1051	693

V tab. 7.2 jsou uvedeny základní parametry vybraných verzí optimalizace rohatky v porovnání s původní verzí. Nejméně materiálu se ušetří variantou optimalizace 1. Je to dáno tím, že zde byla pouze zmenšena tloušťka rohatky bez jakéhokoli odebrání materiálu v centrální části nebo obrysu součásti. Nejvíce objemu materiálu lze ušetřit u mnou zvolené optimalizace - verze 3. Jedná se o úsporu 20 % z objemu původní verze neboli hmotnost 6,9 g.

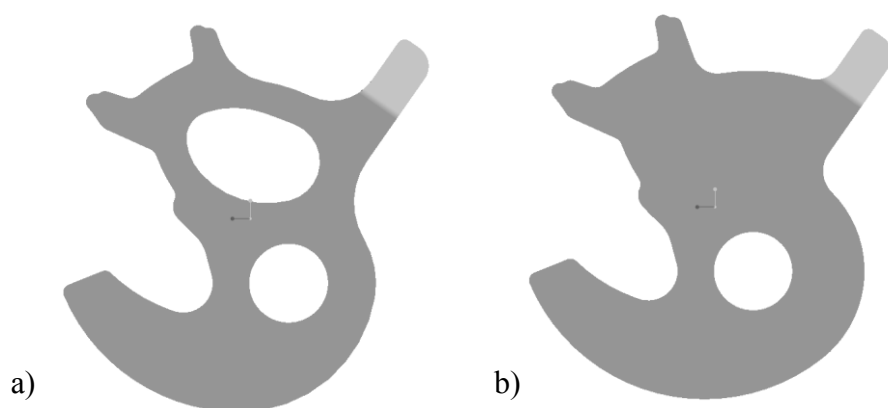
Tab. 7.2 – Parametry vybraných verzí optimalizace rohatky X152

<b>Varianta optimalizace rohatky X152</b>	<b>Tloušťka</b>	<b>Objem</b>	<b>Hmotnost</b>	<b>Úspora materiálu</b>
	[mm]	[mm <sup>3</sup> ]	[g]	[%]
<b>původní</b>	4	4400	34,44	0
<b>1</b>	3,5	3850	30,13	- 12,5
<b>2</b>	4	3546	27,75	- 19,4
<b>3 (vybraná)</b>	4	3519	27,54	- 20
<b>4</b>	4	3522	27,57	- 19,95

## 8. Závěr

V této diplomové práci zadané firmou Brose CZ spol. s r.o. bylo hlavním cílem spolu s pevnostními analýzami vybraných členů zámku také tvarová optimalizace rohatky zámku X152 se snahou o zachování pevnostních vlastností. Byly splněny následující cíle:

- a) V první části jsou popsány hlavní komponenty zámku. Všechny analyzované zámky jsou umístěny v zadních dveřích (kufru) automobilu. Dále je uveden princip testování zámků s jednotlivými zátěžovými testy, kterými jsou zámky podrobeny.
- b) Dalším krokem bylo v programu ANSYS Workbench 13 nastavení okrajových podmínek, volba charakteristiky materiálu a stanovení polohy zatěžujících sil. Zátěžové testy se v praxi provádí vždy pro celý zámek kompletně. Úkolem této práce byla analýza pouze členů rohatky a západky, proto byla snaha okrajové podmínky analýz nastavit co nejreálněji vůči zátěžovým testům.
- c) Analýzy byly provedeny pro rohatku a západku zámků označených jako ASTRA, E91, PL6 a X152. U každého zámku byly provedeny 4 analýzy simulující dva druhy testů a pro každý test dvě polohy zámku – primární a sekundární. Celkem bylo tedy provedeno 16 analýz rohatek a 4 analýzy západek. Analýza západek jednotlivých zámků byla provedena pouze u testu, při kterém působilo největší zatížení. Vzhledem k tomu, že všechny zámky již byly pevnostně testovány a testům vyhověly, cílem analýz bylo zjištění rozložení a velikosti napětí u jednotlivých analyzovaných součástí včetně porovnání výsledných hodnot maximálního napětí. Rozhodující hodnotou maximálního napětí byla mez pevnosti použitého materiálu 16MnCr5 – 1100 MPa.
- d) Z výsledků analýz jednotlivých členů zámku byly vyvozeny opakující se optimalizace, které se u rohatek vyskytují. Tyto změny tvaru, které se opakují, jsem využil při návrhu možných verzí optimalizace rohatky zámku X152.
- e) Navrhl jsem celkem 4 verze úprav původního tvaru rohatky zámku X152. V tab. 7.1 jsou uvedeny hodnoty maximálního napětí při analýzách u jednotlivých verzí optimalizace v porovnání se stávající verzí. V tab. 7.2 jsou uvedeny parametry jednotlivých verzí optimalizace rohatky. Z těchto navržených verzí jsem dle provedených analýz vybral nejprijatelnější variantu - č. 3, viz obr. 8.1. U zvolené optimalizované verze č. 3 došlo k výsledné úspoře 20 % materiálu oproti stávající verzi.



*Obr. 8.1 - porovnání tvaru optimalizované verze 3 (a) rohatky zámku X152 s původní (b)*

#### Doporučení pro zlepšení budoucí konstrukce

Jak již vyplývá ze zobrazených analýz uvedených v kapitole 7, v případě rohatky, u které je větší objem materiálu koncentrován v centrální části je zde možné provést odlehčení. Pokud se zvolí vhodný tvar odlehčení, zásadně se nezhorší pevnost součásti. Návrh tvaru odlehčení je obtížné přesně stanovit. Je vhodné využít software s podporou MKP, které umožní zobrazit průběh napětí při simulaci testu. Z vykreslených hodnot napětí pomocí softwaru MKP lze také uvážit změnu tvaru v oblastech obvodu součásti. Ohledně tvarového doporučení je vhodné volit zaoblení s co možná největšími rádiusy, které mají příznivý vliv na rozložení napětí.

## 9. Seznam použité literatury

- [1] FRYDRÝŠEK K., FRIES J.: *Aplikace konstrukcí na pružném podkladu*. Ostrava, VŠB - TU Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2361-4.
- [2] ANSYS, Inc. *ANSYS Release 13 Documentation*. 2010. Dostupnost jako součást softwaru ANSYS 13
- [3] FUSEK, M. a kolektiv. *Základy lomové mechaniky*. VŠB – TU Ostrava, FS, Katedra pružnosti a pevnosti, 2010. Přednáška č. 2 [online] [cit. 2012-08-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.339.vsb.cz/UM/Prednasky/prednaska2.pdf>>.
- [4] FMVSS 206: *Dveřní zámky a dveřní zádržné součásti* [online]. [cit. 2012-08-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.crash-network.com/Regulations/FMVSS/fmvss.html>>.
- [5] *Srovnání norem ECE R11.02 a FMVSS 206* [online]. [cit. 2012-08-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2002/wp29grsp/TRANS-WP29-GRSP-31-inf15e.pdf>>.
- [6] *Zátěžný test I* [online]. [cit. 2012-08-02]. Dostupné z WWW: <[http://www.trimarkcorp.com/en/media/PDF/FMVSS206\\_Guidelines.pdf](http://www.trimarkcorp.com/en/media/PDF/FMVSS206_Guidelines.pdf)>.
- [7] *Obrázek zadní části vozu BMW X5* [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.tipcars.com>>.
- [8] *Získaná data* - Brose CZ, s.r.o.

### Software

- [9] Výpočetní software *Ansys Workbench*. Ver. 13, 2011
- [11] Konstrukční software *Pro/ENGINEER Wildfire 5.0*, 2009
- [12] Konstrukční software *Autodesk Inventor Professional 2011*

## 10. Seznam příloh

A: X152 - rohatka	3D model optimalizovaného dílu rohatky zámku X152
B: SN2KIK01-01	Výrobní výkres optimalizované rohatky zámku X152